

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-168416
(P2001-168416A)

(43)公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51)Int.Cl.
H 01 L 43/08
G 11 B 5/39
H 01 F 10/12
H 01 L 43/12

識別記号

F I
H 01 L 43/08
G 11 B 5/39
H 01 F 10/12
H 01 L 43/12

テマコード(参考)
Z 5 D 0 3 4
5 E 0 4 9

審査請求 有 請求項の数33 O L (全 33 頁)

(21)出願番号 特願平11-346930

(22)出願日 平成11年12月6日 (1999.12.6)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72)発明者 長谷川 直也
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72)発明者 小池 文人
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74)代理人 100064908
弁理士 志賀 正武 (外7名)

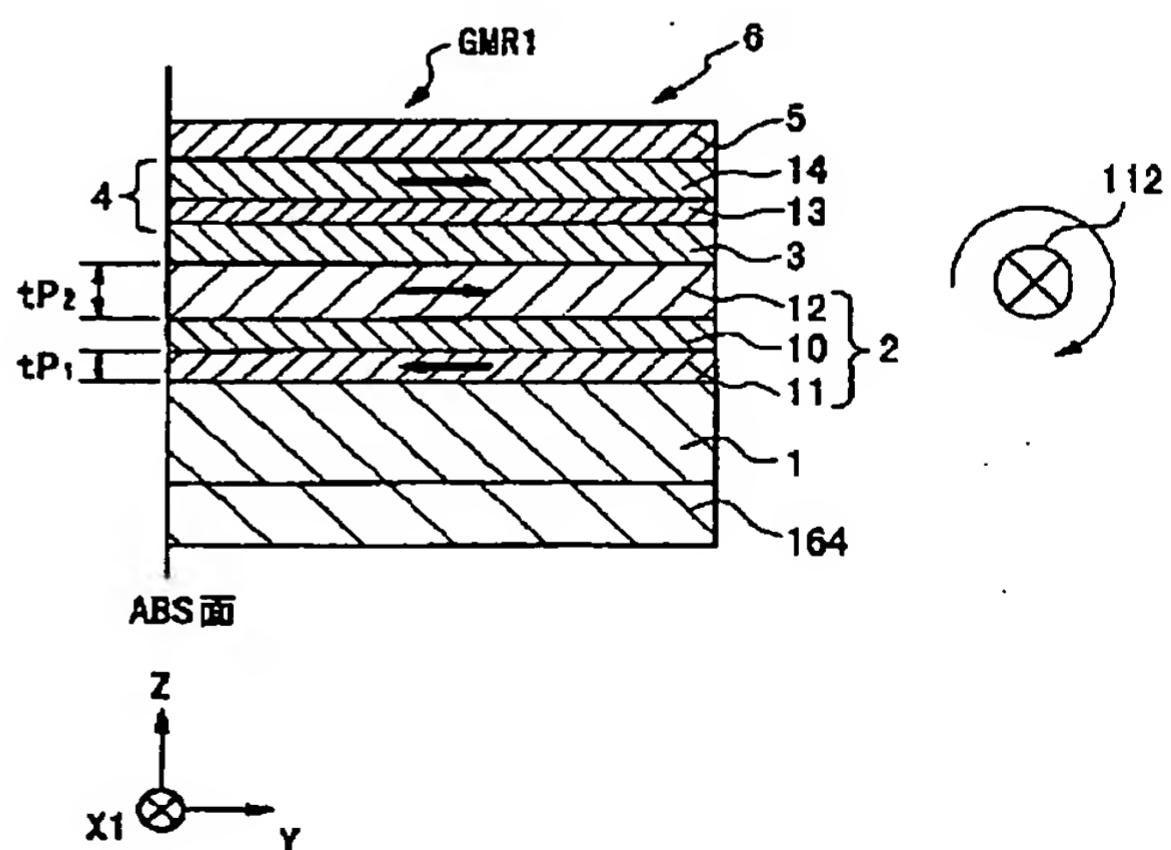
最終頁に続く

(54)【発明の名称】スピンバルブ型磁気抵抗効果素子及びそれを備えた薄膜磁気ヘッドとそれらの製造方法

(57)【要約】

【課題】 本発明は、アシンメトリの低減を図ることができる積層フェリピンド構造のスピンバルブ型磁気抵抗効果素子とそれを備えた薄膜磁気ヘッドの提供、および、それらスピンバルブ型磁気抵抗効果素子と薄膜磁気ヘッドを製造する方法の提供を目的の1つとする。

【解決手段】 本発明は、反強磁性層1と第1の固定磁性層11と非磁性中間層と第2の固定磁性層12と非磁性導電層3とフリー磁性層4と縦バイアス層7と一対のリード層8とを備えたスピンバルブ型磁気抵抗効果素子であって、前記リード層からの検出電流が供給された状態で前記フリー磁性層の磁化方向が前記第2の固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記第2の固定磁性層の磁化方向はトラック幅方向と垂直方向に対して縦バイアス磁界方向から遠ざかる方向に角度θで傾斜されてなることを特徴とする。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換異方性磁界により、磁化方向が固定された第1の固定磁性層と、前記第1の固定磁性層に非磁性中間層を介して形成され、前記第1の固定磁性層の磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層と、この第2の固定磁性層に非磁性導電層を介して形成されたフリー磁性層と、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に磁界を印加する縦バイアス層と、前記第2の固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層に検出電流を与える一対のリード層とを備えたスピンドル型磁気抵抗効果素子であって、

前記リード層からの検出電流が供給された状態で前記フリー磁性層の磁化方向が前記第2の固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記第2の固定磁性層の磁化方向はトラック幅方向と垂直方向に対して縦バイアス磁界方向から遠ざかる方向に角度θで傾斜されてなることを特徴とするスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換異方性磁界により、磁化方向が固定された第1の固定磁性層と、前記第1の固定磁性層に非磁性中間層を介して形成され、前記第1の固定磁性層の磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層と、この第2の固定磁性層に非磁性導電層を介して形成されたフリー磁性層と、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に磁界を印加する縦バイアス層と、前記第2の固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層に検出電流を与える一対のリード層とを備えたスピンドル型磁気抵抗効果素子であって、

前記リード層からの検出電流が供給された状態で前記フリー磁性層の磁化方向が前記第2の固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記フリー磁性層の磁化方向はトラック幅方向に対して前記第2の固定磁性層の磁化方向に向けて角度θで傾斜されてなることを特徴とするスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記角度θが2度以上、30度以下であることを特徴とする請求項1または2記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記角度θが3度以上、15度以下であることを特徴とする請求項1または2記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記角度θが3度以上、10度以下であることを特徴とする請求項1または2記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記検出電流が供給され、かつ、外部磁界が印加されていない状態において、前記フリー磁性層の磁化方向と前記第2の固定磁性層の磁化方向とのなす角度が90度とされてなることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

10

20

30

40

50

【請求項7】 飽和磁化M_sと膜厚tの積を磁気的膜厚とした場合、

第1の固定磁性層の磁気的膜厚<第2の固定磁性層の磁気的膜厚の関係を満足し、かつ、フリー磁性層に作用する検出電流磁界の方向が第2の固定磁性層の磁化方向と逆向き、即ち、第2の固定磁性層に作用する検出電流磁界の方向が第2の固定磁性層の磁化の向きと逆向きとされてなることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 前記反強磁性層が、XMn合金またはXMnX'合金で形成され、XはPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのいずれか1種または2種以上、X'はAu、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのいずれか1種または2種以上からなることを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 前記反強磁性層が、前記第1の固定磁性層と前記非磁性中間層と前記第2の固定磁性層を具備する積層型固定磁性層に対して作用させる総合的交換異方性磁界が96kA/m以上とされてなることを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 基板上に、前記反強磁性層と第1の固定磁性層と非磁性中間層と第2の固定磁性層と非磁性導電層とフリー磁性層とがこの順に積層されてなることを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 前記フリー磁性層が導電性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層に分割されてなることを特徴とする請求項1ないし請求項10のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 基板上に、前記フリー磁性層と非磁性導電層と第2の固定磁性層と導電性中間層と第1の固定磁性層と反強磁性層がこの順に積層されてなることを特徴とする請求項1ないし請求項11のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 請求項1ないし12のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子が磁気情報の読出素子として備えられてなることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項14】 基板上に、少なくとも反強磁性層と、第1の固定磁性層と、非磁性中間層と、第2の固定磁性層と、非磁性導電層と、フリー磁性層を備えた積層体を形成する際、前記フリー磁性層成膜時にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に第1の磁界を印加しつつ成膜を行い、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程と、前記積層体にトラック幅方向と直交する方向に対して角度θ傾斜させた第2の方向、あるいはその180度反対方向の第3の方向に、第2の磁界を印加しつつ、第1の

熱処理温度で熱処理し、前記反強磁性層と前記第1の固定磁性層の界面に交換異方性磁界を発生させて、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化を前記トラック幅方向と直交する方向に対して角度θ傾斜させた方向であって互いに180°反対向きに固定する工程と、

前記積層体の両側に前記フリー磁性層にバイアス磁界を印加するための縦バイアス層を形成する工程と、

前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に第3の磁界を印加しつつ第2の熱処理温度で第2の熱処理を施し、前記フリー磁性層に一軸異方性を再度付与する工程と、

前記第2の固定磁性層の磁化のトラック幅方向のベクトル成分の向きと反対の第4の方向に第4の磁界を印加して前記縦バイアス層を着磁する工程とを具備することを特徴とするスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項15】 前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚よりも第2の固定磁性層の磁気的膜厚を大きくした場合、前記第2の磁界を400kA/m以上とすることで、前記第2の磁界を印加する第2の方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けるか、あるいは、前記第2の磁界を8~80kA/mの範囲とすることで、前記第2の磁界を印加する第2の方向と反対の第3の方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることを特徴とする請求項14に記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項16】 前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を前記第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも大きくし、前記第2の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けるか、あるいは前記第2の磁界を8~80kA/mの範囲とすることで、前記第2の磁界を印加する第2の方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2の方向と反対の第3の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることを特徴とする請求項14に記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項17】 前記第1の熱処理と第2の熱処理との間に、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を有することを特徴とする請求項14~16のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項18】 前記記録用誘導型磁気ヘッドを形成す

る工程の前に前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に磁界を印加して熱処理を施しフリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程を具備することを特徴とする請求項14ないし17のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項19】 前記第2の熱処理において印加する第3の磁界を前記第1の熱処理において行う第2の磁界よりも小さくすることを特徴とする請求項14ないし18のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項20】 前記第2の熱処理において印加する第3の磁界を8kA/m以上、5kA/m以下とすることを特徴とする請求項14ないし19のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項21】 前記第1の熱処理温度を503K(230°C)以上、553K(280°C)以下とするとともに、前記第2の熱処理温度を433K(160°C)以上、513K(240°C)以下とすることを特徴とする請求項14ないし20のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項22】 前記反強磁性層をXMn合金またはXMnX'合金で形成し、XをPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのいずれか1種または2種以上、X'をAu、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのいずれか1種または2種以上とすることを特徴とする請求項14ないし21のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項23】 前記積層体として前記反強磁性層を基板とフリー磁性層の間に配置した構成とすることを特徴とする請求項14ないし請求項22のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項24】 基板上に、少なくとも、反強磁性層と、第1の固定磁性層と、非磁性中間層と、第2の固定磁性層と、非磁性導電層と、フリー磁性層を備えた積層体を形成する際に、前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1番目の方向あるいはその180度反対方向に第1番目の磁界を印加しつつ成膜を行い、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程と、

前記積層体にトラック幅方向と直交する方向に、第2番目の磁界を印加しつつ、第1番目の熱処理温度で熱処理し、前記反強磁性層と前記第1の固定磁性層の界面に交換異方性磁界を発生させて、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化方向をトラック幅方向と直交する方向に固定する工程と、

前記積層体の両側に前記フリー磁性層にバイアス磁界を印加するための縦バイアス層を形成する工程と、

前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1番目の方向あるいは前記第1番目の方向と180度反対方向に第3番

の磁界を印加しつつ第2番目の熱処理温度で熱処理し、前記フリー磁性層に一軸異方性を再度付与するとともに、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化方向を前記トラック幅方向に直交する方向に対して角度 θ 傾斜させた方向に固定する工程と、

前記第2の固定磁性層の磁化のトラック幅方向のベクトル成分の向きと反対の方向に第4番目の磁界を印加して前記縦バイアス層を着磁する工程とを具備することを特徴とするスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項25】 前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも大きくした場合、前記第2の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることを特徴とする請求項24に記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項26】 前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を前記第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも大きくし、前記第2番目の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2番目の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3番目の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向ける一方、前記第2番目の磁界を8~80kA/mの範囲とすることで、前記第2番目の磁界を印加する第2番目の方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の方向と反対の第3番目の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることを特徴とする請求項24に記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項27】 前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも小さくし、前記第2の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に、前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の磁界を8~80kA/mの範囲とした場合、前記第2番目の磁界を印加する方向と180度反対方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の磁界を印加する方向に、前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることを特徴とする請求項24に記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項28】 前記第1番目の熱処理と第2番目の熱処理の間に、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を有することを特徴とする請求項24ないし27のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項29】 前記第2番目の熱処理において印加す

る第3番目の磁界は前記第2番目の印加磁界よりも小さいことを特徴とする請求項24ないし28のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項30】 前記第2番目の熱処理温度を433K(160°C)以上、513K(240°C)以下とし、第1番目の熱処理温度を503K(230°C)以上、553K(280°C)以下とすることを特徴とする請求項24ないし29のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項31】 前記反強磁性層をXMn合金またはXMnX'合金で形成し、XをPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのいずれか1種または2種以上、X'をAu、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのいずれか1種または2種以上とすることを特徴とする請求項24ないし30のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項32】 前記積層体として前記反強磁性層を基板とフリー磁性層の間に配置した構成とすることを特徴とする請求項24ないし31のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項33】 請求項14ないし33のいずれかに記載のスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法を実施して読出素子としての磁気抵抗効果型素子を形成する工程と、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための工程を有することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、フリー磁性層の磁化の方向と、固定磁性層の磁化の方向との関係によって電気抵抗が変化するスピンドル型磁気抵抗効果素子およびそれを備えた薄膜磁気ヘッドとそれらの製造方法に係り、特に、固定磁性層を2層に分断した構造を有するとともに、検出電流磁界を作用させた状態においてアンシメトリを減少させることができる技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、磁気抵抗効果型読み取りヘッド(MRヘッド)として、異方性磁気抵抗効果現象を用いたAMR(Anisotropic Magnetoresistance)ヘッドと、伝導電子のスピンドル型磁気抵抗効果現象を用いたGMR(Giant Magnetoresistance: 巨大磁気抵抗効果)ヘッドとが知られており、GMRヘッドの1つの具体例として、低外部磁界で高磁気抵抗効果を示すスピンドル型(Spin-Valve)ヘッドが知られている。図22は従来のスピンドル型磁気抵抗効果素子を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示す断面図であり、図22において基板101上に反強磁性層102と固定磁性層103が順に積層されている。前記固定磁性層103は反強磁性層102に接するように積層され、固定磁性層103と反強磁性層102との界面において交換結合磁界(交換異

方性磁界)が発生し、前記固定磁性層103の磁化は例えば図示Y方向に固定されている。

【0003】前記固定磁性層103の上にはCuなどで形成された非磁性導電層104が形成され、さらに前記非磁性導電層104の上にはフリー磁性層105が積層されている。前記フリー磁性層105の両側には、例えばCoPt(コバルト-白金)合金で形成されたハードバイアス層106、106が形成されており、前記ハードバイアス層106、106が図示X方向に磁化されることで、前記フリー磁性層105の磁化が図示X方向に揃えられて单磁区化されている。これによって前記フリー磁性層105の変動磁化と前記固定磁性層103の固定磁化とがほぼ90度に交差する関係とされている。なお、図22において符号108はハードバイアス層106上に形成されたCuなどからなる電流リード層である。

【0004】以上の構成のスピンドル型磁気抵抗効果素子においては、前記電流リード層108から素子に検出電流(センス電流)が流されるとともに、ハードディスクなどの磁気記録媒体からの洩れ磁界により、図示X方向に揃えられた前記フリー磁性層105の磁化の方向が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁性層103の固定磁化の方向との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値変化に基づく電圧変化によって磁気記録媒体からの洩れ磁界を検出することができる。

【0005】以上のようなスピンドル型磁気抵抗効果素子においては、その出力のアシンメトリ(Asymmetry: 再生波形の非対称性)が小さい方が好ましいが、このアシンメトリは、フリー磁性層105の変動磁化の方向と固定磁性層103との関係で規定される。例えば、外部磁場が作用していない状態においてフリー磁性層105の変動磁化と固定磁性層103の固定磁化との関係は、90度に近いほど好ましく、理想的には90度であることが好ましい。

【0006】ここで、出力のアシンメトリに影響するフリー磁性層105の変動磁化の方向について図23に示す簡略模式図を基に以下に説明する。図23に簡略化して示すように、固定磁性層103とフリー磁性層105とを有し、検出電流を流すことで磁気情報の読み出しを行うタイプのスピンドル型磁気抵抗効果素子において、フリー磁性層105の磁化が影響を受ける磁界は、磁化の方向が固定された固定磁性層103の磁化をM₁とすると、この磁化M₁により作用する反磁界(双極子磁界)H₁と、検出電流Jによる検出電流磁界(センス電流磁界)H₂と、フリー磁性層105と固定磁性層103との層間相互作用による相互作用磁界H₃、(固定磁性層103とフリー磁性層105の磁化を平行にしようとする方向に作用する磁界)であると考えられる。

【0007】そして、これら複数の磁界がフリー磁性層105の変動磁化M₁に対する寄与分が少なければアシ

ンメトリが減少すると考えられる。即ち、アシンメトリを減少させるためには、外部磁界が印加されていない状態において、ベクトルの総和として、

$$H_1 + H_2 + H_3 = 0$$

の関係を有することが望ましい(上記の式において、H₁、H₂、H₃はそれぞれベクトル量を示す)。よってこの種のスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造する場合、図23に示すようにフリー磁性層105の磁化に対する検出電流磁界H₂と相互作用磁界H₃の作用方向が同じであり、反磁界H₁の向きが異なることを利用し、H₂ = H₁ + H₃の関係となるように構成することでアシンメトリを減少できるものとしてスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造するのが一般的である。

【0008】次に、図24に示す如く、固定磁性層を第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112に分断した積層フェリピンド構造のスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造する方法の一例について図25を参照して以下に説明する。図25においては説明の簡略化のために、反強磁性層110と第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112とフリー磁性層113のみを示し、第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112との間に設けられる非磁性中間層を省略して記載とともに、第2の固定磁性層112とフリー磁性層113との間に設けられる非磁性導電層を省略して記載し、積層された各層の位置をずらして各層の磁化の向きを見やすくした場合の簡略積層構造を示す。なお、図24に示す構造において第1の固定磁性層111の磁気的膜厚(固定磁性層の磁化の強さに膜厚を積算した値)は第2の固定磁性層112の磁気的膜厚よりも小さくされているものとする。

【0009】図24に示すスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造するには、第1に、基板上に図25に示すようにPtMn等からなる反強磁性層110とCo等からなる第1の固定磁性層111と図示略の非磁性中間層とCo等からなる第2の固定磁性層112と図示略の非磁性導電層とNiFe等からなるフリー磁性層113とを具備する積層体を形成する際に、トラック幅方向と直角方向に磁界を印加しながら第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112を成膜し、この後に非磁性導電層を形成し、更にトラック幅方向に磁界を印加しながらフリー磁性層113を成膜する。これにより、図25Aに示すように固定磁性層111、112とフリー磁性層113の磁気異方性の向きを90度交差させた状態とすることができる。

【0010】次に、PtMnの反強磁性層110を規則構造とするための熱処理を図25Bに示すようにトラック幅方向に直交するアニール磁界H₄。「例えば、400kA/m以上」を印加させながら行うことでPtMnの反強磁性層110と第1の固定磁性層111の界面で強い交換結合磁界(交換異方性磁界)を作成させるよう

になり、第1の固定磁性層111の磁化の向きをトラック幅方向に直交するアニール磁界 H_{111} の方向に固定できるとともに、アニール磁界除去後に第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112との間で発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）により第2の固定磁性層112の磁化の方向をアニール磁界 H_{111} と180度反対方向に向けて固定することができる。また、この磁場中アニールを行うことでフリー磁性層113の磁気異方性の向きが図25Bに示すようにトラック幅方向と直交する方向に揃うようになっている。

【0011】次に、図25Cに示すようにトラック幅方向に磁界 H_{111} （方向は図25Cにおいて右向きでも左向きでも良い）を印加しながら磁場中アニールを行い、フリー磁性層113の一軸異方性の方向を磁界 H_{111} に沿うように向けることで図25Cに示すように固定磁性層111、112とフリー磁性層113の磁気異方性の向きを90度に交差させた状態のスピーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図23に示す構造のように固定磁性層103を1枚のみ設けたのでは、素子端部での反磁界が大きく、外部への漏れ磁界が大きく、反強磁性層102から固定磁性層103へ作用させ得るピン止め力を大きくすることが難いので、図24に示すように固定磁性層を2層構造として層毎に互いに逆向きに磁化させるように構成した積層フェリピンド構造のスピーバルブ型磁気抵抗効果素子が開発された。図24に示す構造は、第1の固定磁性層111と第2の固定磁性層112の磁化の向きが反平行になるように構成し、一方の固定磁性層の磁気モーメントを他方の固定磁性層の磁気モーメントより大きくしておくことで、反強磁性層110から2層構造の固定磁性層に効率的に磁気的結合磁界を作用させて強力なピン止め力を得ることができるようとしたものである。

【0013】図24に示す積層フェリピンド構造のスピーバルブ型磁気抵抗効果素子にあっては、2層の固定磁性層の漏れ磁界の大部分を第1の固定磁性層の漏れ磁界で打ち消すようにすることでフリー磁性層113に影響を及ぼす反磁界（双極子磁界） H_s の影響を小さくすることができる反面、前述のアシンメトリの面から見ると、反磁界 H_s が小さくなるので、検出電流磁界 H_s によって反磁界 H_s を打ち消すことによりアシンメトリを調整しようとした機構が成立し難くなり、検出電流磁界 H_s の力が強すぎて逆にアシンメトリを合わせることができ難くなる問題を有していた。特に、図24に示す積層構造の場合に反磁界 H_s が小さくなると、検出電流磁界 H_s によってフリー磁性層105の磁化の向きに影響が生じてしまい、フリー磁性層105の磁化の向きが図24における右下向きに傾斜して符号 M_{111} で示す向きに傾斜してしまい、固定磁性層111、112の磁化の向き

が90度交差状態にならなくなる問題がある。

【0014】また、反磁界 H_s を適当に大きくして検出電流磁界 H_s とのバランスをとり、アシンメトリを調整しようとしても考えられるが、逆に反強磁性層110がピン止め層111、112に作用させるピン止め力が低下するので、積層フェリピンド構造のスピーバルブ型磁気抵抗効果素子においてアシンメトリを調整するためには、他の制御機構を検討する必要があった。

【0015】次に、スピーバルブ型磁気抵抗効果素子を備えた薄膜磁気ヘッドにあっては、読出素子として磁気抵抗効果型素子を備えた上に、書込素子としてインダクティブ素子（磁気誘導型ヘッド）を備えた書込ヘッドとの複合構成とするのが一般的である。この書込ヘッドは、記録用の誘導型コイルを有し、この誘導型コイルの先端側に磁性膜で形成した書込用の磁極と磁気ギャップを設けることで構成されるが、誘導型コイルを他の層から絶縁するために樹脂の絶縁層を設ける必要がある。この誘導型コイルを覆う樹脂の絶縁層を形成する場合、従来は、未硬化の樹脂を塗布してから熱処理を行うことで硬化させている。従って、図25に示す製造工程においては、図25Cに示すようにフリー磁性層113の一軸異方性を付与した後に書込ヘッドの形成プロセスを行い、次いで磁気抵抗効果素子の上下に各々設けられている上部シールド114と下部シールド115を伴った上で熱処理することになるが、ここで行う樹脂硬化のための熱処理温度が473K（200°C）を超える高い温度となるので、図25Eに示すように熱処理によってフリー磁性層113の一軸異方性が乱れ、異方性分散が生じるので、バルクハウゼンノイズの発生につながるなど、読出素子として目的の性能を発揮できなくなるおそれがあった。

【0016】また、薄膜磁気ヘッドにおいて、磁気抵抗効果素子の上部側に設けられる上部シールド114を書込ヘッド（インダクティブヘッド）の下部コア層を兼ねる構成とすることが一般的に行なわれているが、上部シールド114を下部コア層と兼用した場合、前記フリー磁性層113の一軸異方性の乱れと同時に上部シールド層114の磁化容易軸の方向自体に乱れを生じると、インダクティブヘッドが磁気記録媒体に磁気情報を記録する度に上部シールド層114の磁化状態、すなわち、上部シールド層114の磁区構造が非可逆的に変化してしまい、その不可逆な磁区が発生させる磁界の不安定性によって磁気抵抗効果素子の再生出力が不安定となってしまうおそれがあった。

【0017】本発明は前記従来の問題点を解決するためのものであり、特に固定磁性層とフリー磁性層の磁化の向きを検出電流磁界が作用した状態において規定の向きになるように調整することでアシンメトリの減少を図ったスピーバルブ型磁気抵抗効果素子及びこのスピーバルブ型磁気抵抗効果素子を用いた薄膜磁気ヘッドを提供す

ることを目的としている。本発明は前記従来方法の問題点を解決するためのものであり、上述のアシンメトリの低減を図ることができる積層フェリピンド構造のスピバルブ型磁気抵抗効果素子とそれを備えた薄膜磁気ヘッドの提供、および、それらスピバルブ型磁気抵抗効果素子と薄膜磁気ヘッドを製造する方法の提供を目的の1つとする。更に本発明の製造方法は、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁気的膜厚の関係に応じて各層を磁化する場合の印加磁界の方向を調節することでアシンメトリの減少を図ったスピバルブ型磁気抵抗効果素子を製造する方法の提供を目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換異方性磁界により、磁化方向が固定された第1の固定磁性層と、前記第1の固定磁性層に非磁性中間層を介して形成され、前記第1の固定磁性層の磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層と、この第2の固定磁性層に非磁性導電層を介して形成されたフリー磁性層と、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に磁界を印加する縦バイアス層と、前記第2の固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層に検出電流を与える一対のリード層とを備えたスピバルブ型磁気抵抗効果素子であって、前記リード層からの検出電流が供給された状態で前記フリー磁性層の磁化方向が前記第2の固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記第2の固定磁性層の磁化方向はトラック幅方向と垂直方向に対して縦バイアス磁界方向から遠ざかる方向に角度 θ で傾斜されてなることを特徴とする。検出電流磁界が作用した状態において、フリー磁性層の磁化の方向が固定磁性層の磁化の方向と規定の角度で交差するので、磁気記録媒体の磁気情報を読み出して出力を得た場合にアシンメトリを減少させることが可能となる。

【0019】本発明は反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換異方性磁界により、磁化方向が固定された第1の固定磁性層と、前記第1の固定磁性層に非磁性中間層を介して形成され、前記第1の固定磁性層の磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層と、この第2の固定磁性層に非磁性導電層を介して形成されたフリー磁性層と、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に磁界を印加する縦バイアス層と、前記第2の固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層に検出電流を与える一対のリード層とを備えたスピバルブ型磁気抵抗効果素子であって、前記リード層からの検出電流が供給された状態で前記フリー磁性層の磁化方向が前記第2の固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記フリー磁性層の磁化方向はトラック幅方向に対して前記第2の固定磁性層の磁化方向に向けて角度 θ で傾斜されてなることを特徴とする。検出電流磁界が作用した状態において、フリー磁性

層の磁化の方向が固定磁性層の磁化の方向と交差するので、磁気情報を読み出して出力を得た場合にアシンメトリを減少させることが可能となる。

【0020】本発明において、前記角度 θ が2度以上、30度以下であることが好ましく、前記角度 θ が3度以上、15度以下であることがより好ましく、前記角度 θ が3度以上、10度以下であることが最も好ましい。これらの角度範囲であるならば、再生出力を低下させることなくアシンメトリを更に減少させることが可能となる。前記角度が大きすぎると出力が低下し、小さすぎるとアシンメトリの改善効果が得られにくくなる。

【0021】本発明において、前記検出電流が供給され、かつ、外部磁界が印加されていない状態において、前記フリー磁性層の磁化方向と前記第2の固定磁性層の磁化方向とのなす角度が90度とされてなることを特徴とすることが好ましい。検出電流による検出電流磁界の作用によってフリー磁性層の磁化の方向は影響を受けて傾斜するが、この傾斜状態において固定磁性層の磁化の方向とフリー磁性層の磁化の方向が直交するので、高い再生出力を得た上にアシンメトリを最も少なくすることができる。

【0022】本発明において、飽和磁化 M_s と膜厚 t の積を磁気的膜厚とした場合、第1の固定磁性層の磁気的膜厚 t と第2の固定磁性層の磁気的膜厚の関係を満足し、かつフリー磁性層に作用する検出電流磁界の方向が第2の固定磁性層の磁化方向と逆向き、即ち、第2の固定磁性層に作用する検出電流磁界の方向が第2の固定磁性層の磁化方向と逆向きとされてなることが好ましい。

【0023】本発明において、前記反強磁性層が、 X M_n 合金または X M_n X' 合金で形成され、 X は P 、 P d 、 R h 、 I r 、 R u 、 O s のいずれか1種または2種以上、 X' は A u 、 A g 、 C r 、 N i 、 N e 、 A r 、 X e 、 K r のいずれか1種または2種以上からなることが好ましい。これらの合金材料からなる反強磁性層であるならば、 F e M n 等の従来の反強磁性材料に比べてプロシッキング温度が高いので、熱的に安定したスピバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0024】本発明において、前記反強磁性層が、前記第1の固定磁性層と前記非磁性中間層と前記第2の固定磁性層を具備する積層型固定磁性層に対して作用させる総合的交換異方性磁界が96kA/m以上とされてなることが好ましい。総合的交換結合磁界がこのように高い値であると、縦バイアス層から受けるハードバイアス磁界によって固定磁性層の周縁部分で磁化の傾斜が異常となるおそれがある。

【0025】本発明において、基板上に、前記反強磁性層と第1の固定磁性層と非磁性中間層と第2の固定磁性層と非磁性導電層とフリー磁性層とが積層されてなることが好ましい。基板に近い側に反強磁性層を積層した、いわゆる、ボトム型のスピバルブ型磁気抵抗効果素子

にあっては、固定磁性層の交換異方性磁界の大きさを大きくすることができる。

【0026】本発明において、前記フリー磁性層が導電性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層に分割されてなる構造とすることができます。本発明において、基板上に、前記フリー磁性層と非磁性導電層と第2の固定磁性層と導電性中間層と第1の固定磁性層と反強磁性層が積層されてなる構造を採用することができる。

【0027】本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、先のいづれかに記載のスピナバルブ型磁気抵抗効果素子を磁気情報読出素子として備えてなることを特徴とする。

【0028】本発明の製造方法は、基板上に、少なくとも、反強磁性層と、第1の固定磁性層と、非磁性中間層と、第2の固定磁性層と、非磁性導電層と、フリー磁性層を備えた積層体を形成する際、前記フリー磁性層成膜時にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に第1の磁界を印加しつつ成膜を行い、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程と、前記積層体にトラック幅方向と直交する方向に対して角度θ傾斜させた第2の方向、あるいはその180度反対方向の第3の方向に、第2の磁界を印加しつつ、第1の熱処理温度で熱処理し、前記反強磁性層と前記第1の固定磁性層の界面に交換異方性磁界を発生させて、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化を前記トラック幅方向と直交する方向に対して角度θ傾斜させた方向であって互いに180°反対向きに固定する工程と、前記積層体の両側に前記フリー磁性層にバイアス磁界を印加するための縦バイアス層を形成する工程と、前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に第3の磁界を印加しつつ第2の熱処理温度で第2の熱処理を施し、前記フリー磁性層に一軸異方性を再度付与する工程と、前記第2の固定磁性層の磁化のトラック幅方向のベクトル成分の向きと反対の第4の方向に第4の磁界を印加して前記縦バイアス層を着磁する工程とを具備することを特徴とする。

【0029】第1の熱処理温度で第2の磁界を第2の方向に印加して熱処理することで反強磁性層に接する側の第1の固定磁性層の磁界を角度θの傾斜状態で固定することができる。そして、この後にフリー磁性層の一軸異方性の向きをトラック幅方向に揃えることで、検出電流磁界が作用した状態において固定磁性層とフリー磁性層との磁化の向きが交差するスピナバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0030】本発明において、前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を前記第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも大きくし、前記第2の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2の磁界を印加する方

向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向ける一方、前記第2の磁界を8~80kA/mの範囲とすることで、前記第2の磁界を印加する第2の方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2の方向と反対の第3の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができる。

【0031】本発明において、前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも小さくし、前記第2の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に、前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができ、また、前記第2の磁界を8~80kA/mの範囲とすることでも、前記第2の磁界を印加する方向と180度反対方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2の磁界を印加する方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができる。

【0032】本発明において、前記第1の熱処理と第2の熱処理の間に、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を行うことができる。記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程によりフリー磁性層の一軸異方性の方向性は一旦乱れるが、後に行う第2の熱処理によってフリー磁性層の一軸異方性の方向を揃えるので、最終的にフリー磁性層の一軸異方性の向きを揃えたスピナバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0033】本発明において、前記記録用誘導型磁気ヘッドを形成する工程の前に前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1の方向あるいはその180度反対方向に第1の磁界を印加してフリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程を行うことができる。本発明において、前記第2の熱処理において印加する第3の磁界を前記第1の熱処理において行う第2の磁界よりも小さくすることができる。第3の磁界を第2の磁界よりも小さくすることで、先に付与した固定磁性層の磁化の方向に悪影響を及ぼすことなくフリー磁性層の一軸異方性の方向を揃えることができる。

【0034】本発明において、前記第2の熱処理において印加する第3の磁界を8kA/m以上、40kA/m以下とできる。本発明において、前記第1の熱処理温度を503K(230°C)以上、553K(280°C)以下とするとともに、前記第2の熱処理温度を433K(160°C)以上、513K(240°C)以下とすることができます。本発明において、前記反強磁性層をXMn合金またはXMnX'合金で形成し、XをPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのいずれか1種または2種以上、X'をAu、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、X

e、K_rのいずれか1種または2種以上とすることができる。

【0035】本発明の製造方法を、前記積層体として前記反強磁性層を基板とフリー磁性層の間に配置した構成に適用することができる。

【0036】本発明は、基板上に、少なくとも、反強磁性層と、第1の固定磁性層と、非磁性中間層と、第2の固定磁性層と、非磁性導電層と、フリー磁性層を備えた積層体を形成する際に、前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1番目の方向あるいはその180度反対方向に第1番目の磁界を印加しつつ成膜を行い、前記フリー磁性層に対してトラック幅方向に一軸異方性を付与する工程と、前記積層体にトラック幅方向と直交する方向に、第2番目の磁界を印加しつつ、第1番目の熱処理温度で熱処理し、前記反強磁性層と前記第1の固定磁性層の界面に交換異方性磁界を発生させて、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化方向をトラック幅方向と直交する方向に固定する工程と、前記積層体の両側に前記フリー磁性層にバイアス磁界を印加するための縦バイアス層を形成する工程と、前記フリー磁性層にトラック幅方向の第1番目の方向あるいは前記第1番目の方向と180度反対方向に第3番目の磁界を印加しつつ第2番目の熱処理温度で熱処理し、前記フリー磁性層に一軸異方性を再度付与するとともに、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化方向を前記トラック幅方向に直交する方向に対して角度θ傾斜させた方向に固定する工程と、前記第2の固定磁性層の磁化のトラック幅方向のベクトル成分の向きと反対の方向に第4番目の磁界を印加して前記縦バイアス層を着磁する工程とを具備することを特徴とする。

【0037】第1番目の熱処理温度で第2番目の磁界を第2番目の方向に印加して熱処理することで反強磁性層に接する側の第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化をトラック幅方向に直交する方向に固定することができる。そして、この後にトラック幅方向に磁界を印加しつつ熱処理することで、固定磁性層の磁化の向きをトラック幅方向に直交する方向に対して角度θ傾斜させることができ、検出電流磁界が作用した状態において固定磁性層とフリー磁性層との磁化の向きが交差するスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0038】本発明方法において、前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を前記第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも大きくし、前記第2番目の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2番目の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3番目の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができる。また、前記第2番目の磁界を8～80kA/mの範囲とすることでも、前記第2番目の磁界を印加する第2番目の

方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の方向と反対の第3番目の方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができる。

【0039】本発明方法において、前記各固定磁性層の磁気モーメントに膜厚を積算した値を磁気的膜厚とし、前記第1の固定磁性層の磁気的膜厚を第2の固定磁性層の磁気的膜厚よりも小さくし、前記第2の磁界を400kA/m以上とした場合、前記第2の磁界を印加する方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、その180度反対の第3の方向に、前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の磁界を8～80kA/mの範囲とすることでも、前記第2番目の磁界を印加する方向と180度反対方向に前記第1の固定磁性層の磁化の方向を向け、前記第2番目の磁界を印加する方向に前記第2の固定磁性層の磁化の方向を向けることができる。

【0040】本発明において、前記第1番目の熱処理と第2番目の熱処理の間に、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を有することができる。記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を有することで、フリー磁性層の一軸異方性の方向性は一旦乱れるが、その後にトラック幅方向に磁界を印加する第2番目の熱処理によってフリー磁性層の一軸異方性の向きを揃えるので、最終的にフリー磁性層の一軸異方性の方向を揃えることができる。

【0041】本発明において、前記第2番目の熱処理温度を433K(160°C)以上、513K(240°C)以下とし、第1番目の熱処理温度を503K(230°C)以上、553K(280°C)以下とすることができる。

【0042】本発明において、前記反強磁性層をXMn合金またはXMnX'合金で形成し、XをPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osのいずれか1種または2種以上、X'をAu、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、K_rのいずれか1種または2種以上とすることができます。

【0043】本発明において、前記積層体として前記反強磁性層を基板とフリー磁性層の間に配置した構成とすることができます。

【0044】本発明においては、先のいずれかに記載のスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の製造方法を実施して読み出素子としての磁気抵抗効果型素子を形成する工程と、前記積層体上に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための工程を有して薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0045】

【発明の実施の形態】「第1実施形態」図1～図3は本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドに備えられるスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子の一例を示す図である。図1～図3に示される構造は、例えば図4～図6に例示す

る浮上走行式の薄膜磁気ヘッドに設けられる構造であり、この例の薄膜磁気ヘッド150は、ハードディスク装置などの磁気記録装置に搭載されるものである。

【0046】この例の薄膜磁気ヘッド150のスライダ151は、図4において符号155で示す側がディスク面の移動方向の上流側に向くリーディング側であり、符号156で示す側が下流側に向くトレーリング側である。この例のスライダ151の磁気ディスクに対向する面では、レール状のABS面（エアーベアリング面：レール部の浮上面）151a、151a、151bと、溝型のエアーグループ151c、151cとが形成されている。なお、この例のスライダ151は、Al₂O₃—TiC等のセラミックなどからなる非磁性体から構成されている。そして、このスライダ151のトレーリング側の端面151dには、磁気コア部157が設けられている。

【0047】この例において薄膜磁気ヘッドの磁気コア部157は、図5および図6に示す断面構造の複合型磁気コア構造であり、スライダ151のトレーリング側端面151d上に、読出ヘッド（スピンドル型磁気抵抗効果素子を利用したGMRヘッド）h1と、記録用誘導型磁気ヘッド（インダクティブヘッド）h2とが積層されて構成されている。

【0048】この例のGMRヘッドh1にあっては、まず、スライダ151のトレーリング側端部に形成されたアルミナ（Al₂O₃）などの絶縁体からなる保護層162上の磁性合金からなる下部シールド層163上に、アルミナ（Al₂O₃）などの絶縁体からなる下部ギャップ層164が設けられている。そして、下部ギャップ層164上においてABS面151b側には、スピンドル型磁気抵抗効果素子GMR1が積層されている。この磁気抵抗効果素子GMR1上と前記下部ギャップ層164上には上部ギャップ層166が形成され、その上に上部シールド層167が形成されている。この上部シールド層167は、その上に設けられるインダクティブヘッド（誘導型書きヘッド）h2の下部コア層と兼用にされている。

【0049】次に、インダクティブヘッドh2は、前記上部シールド層167と兼用にされた下部コア層167の上に、ギャップ層174が形成され、その上に平面的に螺旋状となるようにパターン化された誘導コイル176が形成されている。前記誘導コイル176は、樹脂などからなる絶縁材料層177に囲まれている。絶縁材料層177の上に形成された上部コア層178は、その磁極端を構成する先端部178aをABS面151bにて下部コア層167に微小間隙をあけて書き用磁気ギャップWGを構成して対向し、基端部178bを下部コア層167と磁気的に接続させて設けられている。また、上部コア層178の上には、アルミナなどからなる保護層179が設けられている。

10

20

30

40

50

【0050】前述の構造のGMRヘッドh1は、ハードディスクのディスクなどの磁気記録媒体からの微小の漏れ磁界の有無により、スピンドル型磁気抵抗効果素子GMR1の抵抗を変化させ、この抵抗変化を読み取ることで磁気記録媒体の記録内容を読み取るものである。

【0051】次に、前述の構造のインダクティブヘッドh2では、コイル176に記録電流が与えられ、コイル176からコア層に記録電流が与えられる。そして、インダクティブヘッドh2は、磁気ギャップWGの部分での下部コア層167と上部コア層178の先端部からの漏れ磁界により、ハードディスクなどの磁気記録媒体に磁気信号を記録するものである。

【0052】ここまで薄膜磁気ヘッド150の全体構造について説明したが、以下に本発明の要部である磁気抵抗効果型（スピンドル型）薄膜素子GMR1について図1～図3を基に詳述する。ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は図1、図2のZ方向であり、磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向は図1、図2のY方向である。

【0053】この実施形態の構造において、スライダ151上の下部ギャップ層164上にスピンドル型磁気抵抗効果素子GMR1が形成されている。図1～図3は本発明に係るスピンドル型の磁気抵抗効果素子の第1実施形態を示すものであり、下部ギャップ層164上に、トラック幅Twに近似する幅で反強磁性層1と固定磁性層2と非磁性導電層3とフリー磁性層4と保護層5が順次積層され、これらにより断面等脚台形状の積層体6が形成され、積層体6のトラック幅方向両側に積層体6の両傾斜面に接する形状の硬磁性材料からなる縦バイアス層7が形成され、各縦バイアス層7上に電流リード層8が積層されている。また、本実施形態の構造においては、固定磁性層2が非磁性中間層10を介して反強磁性層1側の第1の固定磁性層11と、非磁性導電層3側の第2の固定磁性層12とに分断された、いわゆる、シンセティックフェリピンド型（Synthetic-ferri-pinned type）とされている。更にこの形態の構造においては、フリー磁性層4が非磁性導電層3側の第1フリー磁性層13と、保護層5側の第2フリー磁性層14とから構成されている。

【0054】前記反強磁性層1は、規則構造のPtMn合金、あるいは規則構造のXMn合金、PtMnX'合金で形成されていることが好ましい。規則構造のPtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界（交換異方性磁界）も大きいものである。また本発明では、前記PtMn合金に代えて、XMn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）合金、あるいは、PtMnX'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種ま

たは2種以上の元素である)合金で形成されていてもよい。前記第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12は、例えばCo、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金などで形成されているとともに、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の間に介在する非磁性中間層10は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている。

【0055】ところで図1～図3に示す第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12に示されている矢印は、それぞれの磁気モーメントの方向を表しており、前記磁気モーメントの大きさ(磁気的膜厚)は、飽和磁化(Ms)と膜厚(t)とをかけた値で決定される。前記第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とは同じ材質、例えばCo膜で形成され、しかも第2の固定磁性層12の膜厚tP₂が、第1の固定磁性層11の膜厚tP₁よりも大きく形成されているために、第2の固定磁性層12の方が第1の固定磁性層11に比べ磁気モーメントが大きくされている。換言すると第2の固定磁性層12の方が第1の固定磁性層11に比べ磁気的膜厚が大きくされている。なお、本発明では、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12が異なる磁気的膜厚を有することを必要としており、従って、第1の固定磁性層11の膜厚tP₁が第2の固定磁性層12の膜厚tP₂よりも厚く形成されていてもよい。

【0056】このような背景から、第1の固定磁性層11の厚さは1～7nmの範囲が好ましく、第2の固定磁性層12の厚さは1～7nmの範囲が好ましく、両者の膜厚差は0.2nm以上であることが好ましく、10nm(10Å)以下であることが好ましい。また、非磁性中間層10の厚さは0.5～1nmの範囲が好ましい。前記第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の厚さが前記の範囲を超えると磁気抵抗効果に寄与しない伝導電子の分流が多くなり、抵抗変化率が低下するので好ましくなく、前記の範囲を下回ると、素子抵抗が大きくなり過ぎるとともに抵抗変化率が著しく低下するので好ましくない。なお、磁気モーメントの大きさについて図1と図2に示す矢印は各図の紙面に対して傾斜成分を有し、図1と図2に示す矢印が各磁気モーメントの大きさの対比を正確に表しているわけではないので、各層の磁気モーメントについては図3を基に後に詳述するとともに各層の磁気モーメントの方向についても図3を基に後に詳述する。

【0057】図1、2に示すようにフリー磁性層4は、2層で形成されており、前記非磁性導電層3に接する側に形成された第1フリー層13はCo膜で形成されている。また、第2フリー層14は、NiFe合金や、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。なお、非磁性導電層3に接する側にCoの第1フリー層13を形成する理由は、Cuにより形成された前記非磁性導電層3との界面での金属元素等の拡散を防止

でき、また、△R/R(抵抗変化率)を大きくできるからである。

【0058】これは、非磁性導電層3を強磁性の固定磁性層2とフリー磁性層4とで挟む構造の巨大磁気抵抗効果発生機構にあっては、CoとCuの界面で伝導電子のスピニ依存散乱の効果が大きいこと、および、固定磁性層2とフリー磁性層4を同種の材料から構成する方が、異種の材料から構成するよりも、伝導電子のスピニ依存散乱以外の因子が生じる可能性が低く、より高い磁気抵抗効果を得られることに起因している。このようなことから、第2の固定磁性層12をCoから構成した場合は、フリー磁性層4において非磁性導電層3側の第1のフリー層13を所定の厚さでCo層にした構造が好ましい。また、本実施形態のようにCo層を特に区別して設けなくとも、フリー磁性層4を単層構造として、その非磁性導電層3側をCoの多く含ませた合金状態とし、保護層5側に向かうにつれて徐々にCo濃度が薄くなるような濃度勾配の合金層としても良い。また、前記保護層5はTaなどの高温で安定な耐酸化性に優れた金属材料からなることが好ましい。

【0059】一方、図2に示す縦バイアス層7は、CoPt合金あるいはCoCrPt合金などの硬磁性(ハード)材料からなり、電流リード層8はAu、Ta、WあるいはCr等の導電材料からなる。前記縦バイアス層7は前記フリー磁性層4にバイアス磁界を作用させてフリー磁性層4の磁化の向きを図1～図3の矢印に示すような方向に揃えてフリー磁性層4を単磁区化するためのものである。

【0060】次に、図3を基に第1の固定磁性層11の磁化方向と第2の固定磁性層12の磁化方向とフリー磁性層4の磁化方向と検出電流磁界の方向について詳述する。図3に示すように第1の固定磁性層11の磁化の方向と第2の固定磁性層12の磁化の方向は180度異なる反平行状態(フェリ磁性状態)とされているが、検出電流Jを流した状態において、固定磁性層11、12の磁化の向きに対してフリー磁性層4の磁化の向きが90度に交差するように向けられている。図3にこの状態を明確に示すが、図1と図2においては磁化の向きを示すベクトルは紙面の左右方向(X1方向)に対して傾斜成分を有し、図1と図2においては紙面に平行な向きのベクトル成分のみを示している。従って図1と図2では、固定磁性層11、12の磁化とフリー磁性層4の磁化が直交していないようにベクトルを示す矢印で描かれているが、各層の磁化のベクトルの実際の直交状態は図3に明瞭に示すように設定されている。なお、図3Aは検出電流Jが右側から左側に流れるようにした場合の説明図、図3Bは検出電流Jが左側から右側に流れるようにした場合の説明図であるが、いずれの場合においても固定磁性層11、12の磁化方向とフリー磁性層4の磁化方向はほぼ90度直交状態とされ、等価な状態を示して

いる。

【0061】図3Aから明らかなように、前記電流リード層8からの検出電流(センス電流)Jが供給された状態において、前記フリー磁性層4の磁化方向が前記第2の固定磁性層12の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記第2の固定磁性層12の磁化M_{P2}の方向はトラック幅方向と垂直方向の法線Hに対して縦バイアス磁界の方向(図3Aの右向きの矢印)から遠ざかる方向に角度θで傾斜されている。なお、図3Aに示す状態では検出電流Jによる磁界が印加された状態においてフリー磁性層4の磁化M_Fの方向が右上側を向いているが、検出電流Jが作用していない状態においてフリー磁性層4の磁化H_Fの方向はトラック幅方向にほぼ平行な縦バイアス方向に向けられるようになっている。(ただし、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の磁気的膜厚に基づく反磁界(双極子磁界)や第2の固定磁性層12とフリー磁性層4間に働く結合磁界H₁₂が存在するため、正確にトラック幅方向と平行とは限らないが、ここでは一例としてほぼ平行として図示した。)

これは、検出電流Jが作用すると検出電流Jが発生させる検出電流磁界H_Jがフリー磁性層4の磁化に作用してフリー磁性層4の磁化方向を傾斜させようとする力が作用するためであり、この検出電流磁界H_Jが作用してフリー磁性層4の磁化が傾斜した状態において、フリー磁性層4の磁化M_Fの方向が固定磁性層11、12の磁化の方向と直交するように磁化の向きが設定されている。

【0062】図3Aに示す積層構造の各層の磁化状態であると、各層の磁化の方向は明瞭であるが、図1は図3Aの積層構造を横方向から(X1方向に)見た図であるのでフリー磁性層4の磁化方向のベクトルの向きと第2の固定磁性層12の磁化方向のベクトルが同じ向きに記載されているが、実際には図3Aに立体視するように直交状態とされている。更に、図2では図3Aの積層構造をY方向に見た図であるので、フリー磁性層4の磁化方向のベクトルの向きと第2の固定磁性層12の磁化方向のベクトルの向きが180度反対方向に記載されているが、実際には図3Aに立体視するように直交状態とされている。

【0063】図3Bは検出電流が左側から右側向きに流れる場合を想定した構成であるが、各層の磁化の方向は図3Aに示す構造の場合と等価にされる。即ち、前記フリー磁性層4の磁化方向が前記第2の固定磁性層12の磁化方向と交差する方向へ揃えられ、前記第2の固定磁性層12の磁化方向M_{P2}はトラック幅方向と垂直方向の法線Hに対して縦バイアス磁界の方向(図3の右向き)から遠ざかる方向に角度θで傾斜されている。

【0064】前記フリー磁性層4の磁化M_F(またはM₁₂)の方向における前記法線Hに対する傾斜角度θの範囲は、2度≤θ≤30度の範囲が好ましく、3度≤θ≤15度の範囲がより好ましく、3度≤θ≤10度の範囲

が最も好ましい。前記の範囲に限定したのは、傾斜角度θが30度を超えて大きすぎると磁気抵抗効果型薄膜素子としての出力が低下するので好ましくなく、小さすぎるとアシンメトリ改善効果が得られにくくなるからである。

【0065】これらの範囲で実際の傾斜角度θを決定するのは、検出電流磁界Jの強さに応じ、所望の検出電流磁界H_Jを作用させた場合に、フリー磁性層4の磁化方向が前記第2の固定磁性層12の磁化方向と直交する方向へ揃えるように設定することが最も好ましい。これは、外部磁界が作用していない状態においてフリー磁性層4の磁化方向が前記第2の固定磁性層12の磁化方向と直交している状態から、外部磁界の作用によりフリー磁性層4の磁化方向が回転する場合が、磁気抵抗変化が最も効率良く生じるからである。ここで検出電流Jは磁気ヘッドの設計時に周囲の電気回路とのバランスや設計指針により適宜な値に設定されるので、検出電流Jの大きさに合わせて前述の角度範囲の中で好適な角度に決定することになる。

【0066】以上説明した如く第1実施形態の磁気抵抗効果素子GMR1においては、検出電流Jを流して検出電流磁界H_Jを作用させた状態においてフリー磁性層4の磁化方向と固定磁性層11、12の磁化方向を直交させることができるので、再生出力のアシンメトリを少なくすることができる。また、反強磁性層1として使用するのは上述のPtMn合金、XMn合金あるいはPtMnX'合金であるので第1の固定磁性層11に対して強い交換異方性磁界を作用させて第1の固定磁性層11の磁化方向を強くピン止めすることができる。

【0067】ところで、第1実施形態の構造の如く磁気的膜厚の異なる第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とが非磁性中間層10を介して積層されたシンセティックフェリピンド型の構造にあっては、両固定磁性層11、12の合成磁気モーメントに対して反強磁性層1が作用させる交換結合磁界が作用するので、第1の固定磁性層11の磁化を強くピン止めすることができる。

【0068】更に、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とが非磁性中間層10を介して対峙することによる交換結合磁界(RKKY相互作用)により、磁気モーメントが大きい第2の固定磁性層12の磁化方向がピン止めされる。また、第1の固定磁性層11の磁化の向きと第2の固定磁性層12の磁化の向きが180度異なる反平行状態であるので、両層の磁気モーメントが外部に影響する磁界について見ると、両固定磁性層11、12の磁気モーメントの大部分が釣り合って打ち消し合い、残った一部分の磁界が両固定磁性層11、12からの反磁界(双極子磁界)H₁₂として外部のフリー磁性層4に作用するが、上述のシンセティックフェリピンド構造では従来の単層の固定磁性層よりも反磁界(双極子磁界)H₁₂が小さくなり、検出電流磁界H_Jとの釣り合いに

よりアシンメトリを合わせ難くする問題を有していたが、前述の磁化構造を採用することで検出電流磁界 H_1 が作用した状態において固定磁性層11、12とフリー磁性層4の磁化の向きを90度に交差させることができるので、シンセティックフェリピンド構造においてもアシンメトリの問題を解消することができる。

【0069】即ち、検出電流磁界 H_1 を作用させた状態においてフリー磁性層4の磁化の方向と固定磁性層11、12の磁化の方向を正確に90度に交差させることができるので、外部磁場の影響によりフリー磁性層4の磁化の向きが回転しても、回転角度に見合った正確な抵抗変化を発現させることができ、アシンメトリを減少させた正確な出力を得ることができる。

【0070】また、反強磁性層1からの交換結合磁界が大きいほど、第1の固定磁性層11の磁化と第2の固定磁性層12の磁化を安定して反平行状態に保つことが可能であり、特に本実施形態で用いる合金は反強磁性層1として強い交換結合磁界を作用させることができ、プロシッキング温度もFeMn等の従来合金材料よりも高いので、前記第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化状態を熱的にも安定して保つことができる。その上で本第1実施形態の構造ではアシンメトリの問題も解消することができる。

【0071】「第1の例の製造方法」次に、図1～図3に示す第1実施形態の構造を有する磁気抵抗効果型薄膜素子の製造方法の第1の例について説明する。本発明において、図1～図3に示す構造の磁気抵抗効果型薄膜素子を製造するためには、基板上にPtMn等の反強磁性材料からなる反強磁性層1と、第1の固定磁性層11と非磁性中間層10と第2の固定磁性層12と非磁性導電層3とフリー磁性層4（第1のフリー層13と第2のフリー層14からなる）と保護層5を順次積層する。以上の積層構造において、主要な層の積層状態を図7Aに示す。図7Aにおいては説明の簡略化のために、反強磁性層1と第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とフリー磁性層4のみを示し、これらの層を主体として説明する。

【0072】なおここで、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12を成膜する場合にトラック幅方向に対して直交する方向に磁場を印加する磁場中成膜処理としても良い。また、フリー磁性層4を成膜する場合には、トラック幅方向に沿う第1の方向 D_1 （あるいは第1の方向 D_1 と180度反対の D_{11} 方向）に第1の磁界 H_1 を印加してフリー磁性層4の一軸異方性をトラック幅方向に揃えておくことが好ましい。

【0073】これらの各層を積層した積層体を得たならば、PtMn等の反強磁性層1を規則構造とするための第1の熱処理（503K～553K；230℃～280℃に60分～480分程度加熱する熱処理）をトラック幅方向に直交する方向 D_1 に対して所定の角度 θ だけ傾

斜させた第2の方向 D_2 に、400kA/m以上の強い第2の磁界 H_2 を印加しながら図7Bに示すように行う。なお、ここにおいて印加する第2の磁界 H_2 の強さが8kA/m～80kA/m程度の弱い磁界である場合、各層の磁化の状態が異なり、場合によっては第2の方向 D_2 に対して180度反対方向の第3の方向 D_3 に磁界 H_2 を印加する必要があるが、この弱い磁場の場合の磁場方向については後に詳述する。

【0074】前述の400kA/m以上の強い磁場を印加して行う第1の熱処理によって反強磁性層1を構成する反強磁性材料の規則化がなされて強い交換結合磁界を第1の固定磁性層11に作用させることができるので第1の固定磁性層11の磁化の方向を印加磁界の方向 D_1 に向けることができるとともに、印加磁界を除去すると、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間で発生される交換結合磁界（RKKY相互作用）により第2の固定磁性層12の磁化を第1の固定磁性層11の磁化の方向と180度反対方向に固定することができる。また、この第1の熱処理の際に、フリー磁性層4の一軸異方性の磁化容易軸の方向はトラック幅方向に直交する方向 D_1 に対して所定の角度 θ だけ傾斜させた前述の第2の方向 D_2 に平行な方向に向けられるか、あるいは、元の一軸異方性の磁化容易軸の方向が分散した状態となる。

【0075】次に、図7Cに示すようにトラック幅方向に平行な方向 D_1 （あるいは180度反対側を向く D_{11} 方向）に先の第2の磁界 H_2 よりも弱い磁界 H_3 （ $H_3 > H_1$ ）を印加しながら433K～513K（160℃～240℃）に加熱する磁場中アニール処理を施すことでフリー磁性層4の一軸異方性の磁化容易軸の方向をトラック幅方向に平行な方向 D_1 （あるいは180度反対側を向く D_{11} 方向）に揃えることができる。なお、図7Cに示す磁場中アニール処理は、必要に応じて行えば良く、省略した上で後述の書きヘッドの製造工程を実施しても差し支えない。

【0076】次に、磁化の方向を図7Cに示すように揃えた積層体の両側に図2に示すような縦バイアス層7と電流リード層8を形成後、図5に示すようにインダクティブヘッド（記録用誘導型磁気ヘッド）h2を形成するプロセスを実施する。このインダクティブヘッドh2の製造には、積層体上に上部ギャップ層166と上部シールド層167を形成し、この上部シールド層167をインダクティブヘッド用の下部コア層167として兼用し、その上にギャップ層174を形成し、その上に平面的に螺旋状となるようにパターン化された誘導コイル176をフォトリソグラフィ法によって形成する。次にこの誘導コイル176を覆うように絶縁材料層177を形成する。この絶縁材料層177を形成する際に樹脂層を塗布してから硬化させるために200℃～280℃；473K～553Kの範囲の温度に加熱する熱処理を行

う。熱処理後に上部コア層178を形成し、この上部コア層178を加工して書込用磁気ギャップWGを構成した後、保護層179を形成することでインダクティブヘッドh2を形成する。

【0077】ここで先の樹脂硬化のための熱処理において473K(200°C)以上に加熱すると、図7Eに示すように積層体の上下に下部シールド層163と上部シールド層167を設けていてもフリー磁性層4の及び下部シールド層163及び上部シールド層167の一軸異方性の磁化容易軸は方向性が多少失われて不揃いとなり、異方性分散を生じる。よって次に、図7Fに示すように再度トラック幅方向に平行な方向D₁（あるいは180度反対側を向くD₁方向）に先の第2の磁界H₂よりも弱い第3の磁界H₃を印加しながら433K～513K(160°C～240°C)に加熱する磁場中アニール処理を施すことでフリー磁性層4及び下部シールド層163及び上部シールド層167の一軸異方性の磁化容易軸の方向をトラック幅方向に平行な方向D₁（あるいは180度反対側を向くD₁方向）に揃えることができる。ここで施す第3の磁界H₃は、これまで磁化した各層の磁化が変動しない程度の強さとする必要があるので、8kA/m以上、40kA/m以下程度の強さに印加すれば十分である。

【0078】次に、先の積層体の両側に設けた縦バイアス層7、7に対して先の第2の磁界H₂を印加して第2の固定磁性層の磁化の方向をトラック幅方向と直交する方向から傾斜させた方向と逆方向に、第4の磁界を印加して縦バイアス層7の着磁を行う。ここで縦バイアス層7の着磁を行うには、これまで形成したもの全体を電磁石などの磁気発生装置の内部に設置し、室温で400kA/m以上の磁界をフリー磁性層4の一軸異方性を付与した方向に印加することで行う。この処理により、縦バイアス層7の着磁を行うことができ、縦バイアス層7の着磁方向にほぼ沿うようにフリー磁性層4の磁化の方向を揃えることができる。ここで行う縦バイアスの着磁処理は室温であるのでフリー磁性層や固定磁性層の異方性に影響はない。即ち、磁気エネルギーは大きいが熱エネルギーは小さいのでこれらの層に磁気的な影響を生じない。

【0079】以上のように製造された磁気抵抗型薄膜素子に対し、電流リード層8に対して検出電流を流すことで検出電流磁界H₄が作用し、フリー磁性層4の磁化の向きを図7Gの実線矢印から鎖線矢印（右斜め下方向きの矢印）に変化させてるので、結果的に固定磁性層11、12の磁化方向とフリー磁性層4の磁化方向を直交させることになる。以上の状態の磁気抵抗型薄膜素子に対して磁気記録媒体からの漏れ磁界が作用すると、固定磁性層11、12の磁化方向に対して直交していたフリー磁性層4の磁化の向きが、漏れ磁界の強さに応じて回転し、その回転角に応じた抵抗変化が生じるので、この抵

10

20

30

40

50

抗変化に応じた検出電流変化を出力としてとらえることで磁気記録媒体からの漏れ磁界を検出することができる。

【0080】「第2の熱処理時の磁界の強弱について」次に、前記第1の例の製造方法において、第2の熱処理を400kA/m以上の強い磁界で行う場合の各層の膜厚関係と、第2の熱処理を8kA/m～80kA/m程度の弱い磁界を印加しながら行う場合の各層の膜厚関係について説明する。また、先の400kA/m以上の強い磁界を印加しながら熱処理する場合と、弱い磁界を印加しながら熱処理する場合に、第1の固定磁性層11の膜厚と第2の固定磁性層12の膜厚には以下の好ましい関係が存在する。

【0081】本発明構造の如く第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とが非磁性中間層10を介して分断されたシンセティックフェリピンド構造にあっては、前記第1の固定磁性層12の膜厚t_{p1}と、第2の固定磁性層14の膜厚比t_{p2}を適正化することが好ましく、（第1の固定磁性層の膜厚t_{p1}）／（第2の固定磁性層の膜厚t_{p2}）は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば交換結合磁界を大きくできるが、上記範囲内においても第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との膜厚自体が厚くなると、交換結合磁界は低下する傾向にあるため、本発明では、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の膜厚を適正化することが好ましい。

【0082】本発明では、例えば、第1の固定磁性層12の膜厚t_{p1}及び第2の固定磁性層12の膜厚t_{p2}が10～70Åの範囲内で、且つ第1の固定磁性層12の膜厚t_{p1}から第2の固定磁性層14の膜厚t_{p2}を引いた絶対値が2Å以上であることが好ましい。

【0083】上記範囲内で適正に膜厚比、及び膜厚を調節すれば、例えば、PtMn合金からなる反強磁性層1を利用して少なくとも40kA/m以上の総合的交換結合磁界（H_{ex}）を容易に得ることが可能である。ここで総合的交換結合磁界とは、最大△R/R（抵抗変化率）の半分の△R/Rとなるときの外部磁界の大きさのことであり、前記総合的交換結合磁界（H_{ex}）は、反強磁性層1と第1の固定磁性層11との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）や第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間で発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）などのすべての磁界を含めた総合的なものである。

【0084】また本発明では、前記（第1の固定磁性層11の膜厚t_{p1}）／（第2の固定磁性層12の膜厚t_{p2}）は、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層11の膜厚t_{p1}と第2の固定磁性層12の膜厚t_{p2}は共に10～50Åの

範囲内であり、しかも第1の固定磁性層11の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層12の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値は2Å以上であることが好ましい。上記範囲内で、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の膜厚比、及び第1の固定磁性層11の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層12の膜厚 t_{p2} を適正に調節すれば、例えばPtMn合金の反強磁性層1において少なくとも40kA/m以上の総合的交換結合磁界を得ることができる。また上記範囲内の、膜厚比及び膜厚であれば総合的交換結合磁界(H_{c2})を大きくできると同時に、 $\Delta R/R$ (抵抗変化率)も従来と同程度に高くすることが可能である。

【0085】総合的交換結合磁界が大きいほど、第1の固定磁性層11の磁化と第2の固定磁性層12の磁化を安定して反平行状態に保つことが可能であり、特に本発明では反強磁性層1としてブロッキング温度が高く、しかも第1の固定磁性層11との界面で大きい交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させるPtMn合金を使用することで、前記第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化状態を熱的にも安定して保つことができる。

【0086】ところで、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とが同じ材質で形成され、しかも前記第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との膜厚が同じ値であると、特に熱処理中の磁場が8~80kA/mの場合においては、総合交換結合磁界及び $\Delta R/R$ は極端に低下することが実験により確認されている。これは、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ と、第2の固定磁性層12の磁気的膜厚 $M_{s2} \cdot t_{p2}$ とが同じ値である場合、前記第1の固定磁性層11の磁化と第2の固定磁性層12の磁化が反平行状態にならず、*30

第1の固定磁性層 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ > 第2の固定磁性層 $M_{s2} \cdot t_{p2}$

| 熱処理中の 磁界方向 | (1) ← 左に8kA/m ~80kA/m | (2) → 右に8kA/m ~80kA/m | (3) → 右に400kA/m 以上 | (4) ← 左に400kA/m 以上 |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 第1の固定 磁性層の方 向 | ← | → | → | ← |
| 第2の固定 磁性層の方 向 | → | ← | → | ← |
| 磁界除去後 の 磁化方 向 | ← | → | → | ← |

【0091】表1では、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ が、第2の固定磁性層12の磁気的膜厚 $M_{s2} \cdot t_{p2}$ よりも大きい場合に、熱処理中の磁場の大きさ及びその方向を変えることによって、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化が磁界印加中にどの方向に向かうか、磁界除去後にどの方向を向かうかを表している。

【0092】表1の(1)の場合では、熱処理中の磁場の方向を図示左側(←方向)に、8kA/m~80kA/m与えている。この場合、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ の方が、第2の固定磁性層12の

* 前記磁化の方向分散量(様々な方向に向いている磁気モーメント量)が多くなることにより、フリー磁性層4の磁化との相対角度を適正に制御できないからである。

【0087】こうした問題を解決するためには、第1に第1の固定磁性層11の磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ と、第2の固定磁性層12の磁気的膜厚 $M_{s2} \cdot t_{p2}$ を異なる値にすること、すなわち第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12とが同じ材質で形成される場合には、前記第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12を異なる膜厚で形成する必要がある。

【0088】本発明では前述したように、第1の固定磁性層11と、第2の固定磁性層12の膜厚比を適正化しているが、その膜厚比の中で、前記第1の固定磁性層11の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層12の膜厚 t_{p2} がほぼ同じ値になる場合、具体的には、0.95~1.05の範囲内の膜厚比を適正な範囲から除外している。

【0089】次に、本発明のように、反強磁性層1にPtMn合金など、成膜後に磁場中アニール(熱処理)を施すことにより、第1の固定磁性層11との界面で交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させる反強磁性材料を使用した場合には、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ を異なる値に設定しても、熱処理中の印加磁場の方向、及びその大きさを適正に制御しないと第1の固定磁性層11の磁化及び第2の固定磁性層12の磁化に方向分散量が多くなり、あるいは前記磁化を向かう方向に適正に制御できない。

【0090】

【表1】

磁気的膜厚 $M_{s1} \cdot t_{p1}$ よりも大きいために、支配的な第1の固定磁性層11の磁化が、印加磁場方向にならって図示左方向に向き、第2の固定磁性層12の磁化は、第1の固定磁性層11との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、反平行状態(→方向)になろうとする。

【0093】表1の(2)の場合では、右方向(→方向)に8kA/m~80kA/mの磁場を印加すると、支配的な第1の固定磁性層11の磁化が、印加磁場方向にならって右方向に向き、第2の固定磁性層12の磁化は、第1の固定磁性層11の磁化に対して反平行(←方

向) になる。

【0094】表1の(3)の場合では、右方向(→方向)に400kA/m以上の磁場を与えると、まず支配的な第1の固定磁性層11の磁化は、印加磁場方向にならって右方向に向く。ところで、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)は、80kA/m~400kA/m程度であるので、400kA/m以上の磁場が印加されると、第2の固定磁性層12もその印加磁場方向、すなわち図示右方向(→方向)に向く。同様に、表1の(4)では左方向(←方向)に400kA/m以上の磁場を印加すると、第1の固定磁性層11及び第2の固定*

10

【0096】

【表2】

| 第1の固定磁性層Ms · tP1 < 第2の固定磁性層Ms · tP2 | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 熱処理中の 磁界方向 | (1) ← 左に8kA/m ~80kA/m | (2) → 右に8kA/m ~80kA/m | (3) → 右に400kA/m 以上 | (4) ← 左に400kA/m 以上 |
| 第1の固定 磁性層の方 向 | → | ← | → | ← |
| 第2の固定 磁性層の方 向 | ← | → | → | ← |
| 磁界除去後 の 磁化方向 | → | ← | → | ← |

【0097】表2では、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚Ms · tP1が、第2の固定磁性層12の磁気的膜厚Ms · tP2よりも小さい場合に、熱処理中の印加磁場の大きさ及びその方向を変えることによって、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化が磁界印加中にどの方向に向くか、磁界除去後にどの方向に向くかを表している。

【0098】表2の(1)の場合では、表の左方向に8kA/m~80kA/mの磁場を与えると、磁気的膜厚Ms · tP2の大きい第2の固定磁性層12の磁化が支配的になり、前記第2の固定磁性層12の磁化が、印加磁場方向にならって、図示左方向に向く。第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の間の交換結合(RKKY相互作用)によって、前記第1の固定磁性層12の磁化は前記第2の固定磁性層12の磁化に対して反平行(→方向)になる。同様に、表2の(2)の場合では、図示右方向に8kA/m~80kA/mの磁場を与えると、支配的な第2の固定磁性層12の磁化が表の右方向(→方向)に向き、第1の固定磁性層11の磁化は表の左方向(←方向)に向く。

【0099】表2の(3)の場合では、表の右方向に400kA/m以上の磁場を与えると、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の間の交換結合(RKKY相互作用)以上の磁場が印加されることにより、前記第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化が共に、表の右方向(→方向)に向く。表2の(4)の場合では、表の左方向に400kA/m以上の磁場を印加されると、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化が共に表の左方向(←方向)に向く。しか

* 磁性層12の磁化は共に、図示左方向(←方向)に向く。

【0095】しかし、表1の(3)、(4)の場合では印加していた磁界を取り去ると、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)により、第2の固定磁性層12の磁化方向が反転し、第1の固定磁性層11の磁化の方向と第2の固定磁性層12の磁化の方向は180度異なる反平行状態となる。

10

【0096】

【表2】

し、表2の(3)、(4)の場合では印加していた磁界を取り去ると、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)により、第2の固定磁性層12の磁化方向が反転し、第1の固定磁性層11の磁化の方向と第2の固定磁性層12の磁化の方向は180度異なる反平行状態となる。

30

【0100】ここで、例えば第1の固定磁性層11の磁化を表の右方向(→方向)に向けようとする場合、適正な熱処理中の磁場方向及びその大きさは、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚が第2の固定磁性層12の磁気的膜厚よりも大きな構造において、表1における(2)

(3)の場合(表1の磁界除去後の磁化方向の欄においてベクトルの大きな右向き矢印参照)、第2の固定磁性層12の磁気的膜厚が第1の固定磁性層11の磁気的膜厚よりも大きな構造において、表2における(1)

(3)の場合(表2の磁界除去後の磁化方向の欄においてベクトルの小さな右向き矢印を参照)である。

40

【0101】表1の(2)、(3)の場合では共に、磁気的膜厚Ms · tP1の大きい第1の固定磁性層11の磁化は、熱処理中における右方向の印加磁場の影響を受けて、右方向に向き、このとき、熱処理によって発生する反強磁性層11との界面での交換結合磁界(交換異方性磁界)によって、前記第1の固定磁性層11の磁化が右方向に固定される。表1(3)の場合では、400kA/m以上の磁場を取り除くと、第2の固定磁性層12は、第1の固定磁性層11との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第2の固定磁性層12の磁化は反転し、左方向(←方向)に向く。

50

【0102】同様に表2(1)(3)の場合では、右方向に向けられた第1の固定磁性層11の磁化は、反強磁性層11との界面での交換結合磁界(交換異方性磁界)によって、右方向に固定される。表2(3)の場合では、400kA/m以上の磁場を取り除くと、第2の固定磁性層12は、第1の固定磁性層11との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第2の固定磁性層12の磁化は反転し、左方向(←方向)に固定される。これに対して第1の固定磁性層11の磁気的膜厚よりも第2の固定磁性層12の磁気的膜厚を大きくした場合において8kA/m~80kA/mの範囲の磁界を印加する場合は、表2の(1)か(2)の場合に相当するので、第1の固定磁性層11の磁化方向は磁界印加中においても磁界の方向と逆向きとなり、磁界印加を中止した後においても磁界の方向と逆向きの磁化となる。

【0103】以上説明したように第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の磁気的膜厚の大小と印加磁界の大小により、表1と表2に示すように複数の組み合わせが生じる。ここで先の図1~図3に示す構造を採用して第1の固定磁性層11の磁気的膜厚よりも第2の固定磁性層12の磁気的膜厚を大きくした場合において、400kA/m以上の第2の磁界H₂を印加する場合は表2の(3)か(4)の場合に相当する。即ち、先に説明した方法において第2の方向D₂に向く400kA/m以上の第2の磁界H₂を印加した場合に、第1の固定磁性層11の磁化の向きと第2の固定磁性層12の磁化の向きは揃ってD₂方向に向くが、この第2の磁界H₂を取り去ると第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間に生じる交換結合磁界(RKKY相互作用)によって第2の固定磁性層12の磁化の向きはD₂方向とは反対方向のD₂方向を向くので、図7Bに示すような各層の磁化方向となる。また、先の方法において印加する磁界の強さを8kA/m~80kA/mの範囲の強さにする場合は、表2の(1)(2)の場合と同様になるので、先の第2の方向D₂とは180度反対方向のD₂方向に印加すれば良い。

【0104】また、仮に、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚を第2の固定磁性層12の磁気的膜厚よりも大きい構造とした場合、磁化の方向と印加磁界の関係は表1に示す関係となるので、この場合に、第2の方向D₂に400kA/m以上の磁界を印加するか、8kA/m~80kA/mの磁界を印加することでいずれも第1の固定磁性層11の磁化を第2の方向D₂に向けることができる。

【0105】ところで表1及び表2に示すように、熱処理中に印加される磁場の大きさは、8kA/m~80kA/mあるいは400kA/m以上であり、80kA/m~400kA/mの範囲の磁場の大きさを適正な範囲から外している。これは次のような理由による。

【0106】磁場を与えることによって、磁気的膜厚M_s・t_pの大きい方の固定磁性層の磁化は、その磁場方向に向こうとする。ところが、熱処理中の磁場の大きさが80kA/m~400kA/mの間であると磁気的膜厚M_s・t_pの小さい固定磁性層の磁化までが、磁場の影響を強く受けて、その磁場方向に向こうとする。このため、固定磁性層間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって反平行になろうとする2層の固定磁性層の磁化が、強い磁場の影響を受けて反平行にはならず、前記固定磁性層の磁化が、様々な方向に向こうとする、いわゆる磁化分散量が多くなり、2層の固定磁性層の磁化を適正に反平行状態に磁化することができなくなる。従って、本発明では80kA/m~400kA/mの磁場の大きさを、適正な範囲から外している。なお熱処理中の磁場の大きさを8kA/m以上としたのは、この程度の磁場を与えない場合、磁気的膜厚M_s・t_pの大きい固定磁性層の磁化を、その印加磁場方向に向けることができないからである。

【0107】なお、上述した熱処理中の磁場の大きさ及びその方向の制御方法は、熱処理を必要とする反強磁性層11を使用した場合であれば、どのような反強磁性材料を使用した場合であっても適用可能であり、例えば従来から反強磁性層1として用いられているNiMn合金などを使用した場合でも適用可能である。

【0108】以上のように本発明方法では、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との膜厚比を適正な範囲内に收めることによって、総合交換結合磁界(H_{ext})を大きくでき、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の磁化を、熱的にも安定した反平行状態(フェリ状態)に保つことができ、しかも△R/R(抵抗変化率)を従来と同程度に確保することが可能である。さらに熱処理中の磁場の大きさ及びその方向を適正に制御することによって、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12の磁化方向を、得たい方向に制御することが可能になる。

【0109】ところで、前述したように磁気モーメント(磁気的膜厚)は、飽和磁化M_sと膜厚tとの積算によって求めることができ、例えばバルク固体のNiFeであると、飽和磁化M_sは、約1.0T(テスラ)であり、バルク固体のCoであると、飽和磁化M_sは約1.7Tであることが知られている。従って、前記NiFe膜の膜厚が30Åである場合、前記NiFe膜の磁気的膜厚は、30Å・Tとなる。外部から磁界を加えたときの強磁性膜の静磁エネルギーは、磁気的膜厚と外部磁界との掛け合せに比例するため、磁気的膜厚の大きい強磁性膜と磁気的膜厚の小さい強磁性膜が非磁性中間層を介してRKKY相互作用によりフェリ状態になっている場合、磁気的膜厚の大きい方の強磁性膜が、外部磁界の方向を向きやすくなるわけである。

【0110】しかしながら、タンタル(Ta)やルテニ

ウム (Ru) 、銅 (Cu) 等の非磁性膜と積層接触した強磁性膜の場合や PtMn 膜などの反強磁性層と積層接觸した強磁性膜の場合、非磁性膜原子や反強磁性膜原子と強磁性膜原子 (Ni, Fe, Co) が直接触れ合うため、非磁性膜や反強磁性膜との界面付近の強磁性膜の飽和磁化 M_s が、バルク固体の飽和磁化 (M_s) よりも小さくなることが知られている。更に、強磁性膜と非磁性膜、反強磁性層の積層多層膜に熱処理が施されると、前記熱処理によって界面拡散が進行し、強磁性膜の飽和磁化 M_s に膜厚方向の分布が生じることが知られている。すなわち、非磁性膜や反強磁性層に近い場所の飽和磁化 M_s は小さく、非磁性膜や反強磁性膜との界面から離れるに従って飽和磁化 M_s がバルク固体の飽和磁化 M_s に近づくという現象である。

【0111】非磁性膜や反強磁性層に近い場所の強磁性膜の飽和磁化 M_s の減少は、非磁性膜の材料、反強磁性層の材料、強磁性膜の材料や積層順序、熱処理温度等に依存するため、正確には それぞれの特定された条件において求めなければならないことになる。本発明における磁気的膜厚とは、非磁性膜や反強磁性層との熱拡散によって生じた飽和磁化 M_s の減少量も考慮して算出した値である。

【0112】PtMn の反強磁性層と強磁性膜との界面で交換結合磁界を得るために、熱処理により PtMn 膜と強磁性膜との界面で拡散層を形成することが必要であるが、拡散層の形成に伴う強磁性膜の飽和磁化 M_s の減少は、PtMn 膜と強磁性膜の積層順序に依存することになる。

【0113】特に図 1 に示す構造のように、反強磁性層 1 がフリー磁性層 4 よりも下側に形成されている、いわゆる、ボトム型のスピンドル型の磁気抵抗効果薄膜素子の場合にあっては、前記反強磁性層 1 と第 1 の固定磁性層 1 1 との界面に熱拡散層が発生しやすく、このため前記第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的な膜厚は、実際の膜厚 t_p に比べて小さくなっている。しかし前記第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的な膜厚が小さくなりすぎると、第 2 の固定磁性層 1 2 との磁気的膜厚差が大きくなりすぎ、前記第 1 の固定磁性層 1 1 に占める熱拡散層の割合が増えることにより、交換結合磁界の低下につながるといった問題がある。

【0114】すなわち本発明のように、第 1 の固定磁性層 1 1 との界面で交換結合磁界を発生するために熱処理を必要とする反強磁性層 1 を使用し、第 1 の固定磁性層 1 1 と第 2 の固定磁性層 1 2 の磁化状態をフェリ状態にするためには、前記第 1 の固定磁性層 1 1 及び第 2 の固定磁性層 1 2 の膜厚の適正化のみならず、前記第 1 の固定磁性層 1 1 及び第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚の適正化を行わないと、安定した磁化状態を保つことができない。

【0115】前述したように、第 1 の固定磁性層 1 1 と

第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第 1 の固定磁性層 1 1 と第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第 1 の固定磁性層 1 1 と第 2 の固定磁性層 1 2 の膜厚比と同じように、(第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚) / (第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚) は、0.33 ~ 0.95、あるいは 1.05 ~ 4 の範囲内であることが好ましい。更に本発明では、第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚及び第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚が 10 ~ 70 (Å · T) の範囲内で、且つ第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚から第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚を引いた絶対値が 2 (Å · T) 以上であることが好ましい。

【0116】また、同様に、(第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚) / (第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚) が 0.53 ~ 0.95 あるいは 1.05 ~ 1.8 の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であつて、第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚と第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚は共に 10 ~ 50 (Å · T) の範囲内であり、しかも第 1 の固定磁性層 1 1 の磁気的膜厚から第 2 の固定磁性層 1 2 の磁気的膜厚を引いた絶対値は 2 (Å · T) 以上であることが好ましい。

【0117】「第 2 の例の製造方法」次に、図 1 ~ 図 3 に示す第 1 実施形態の構造を有するスピンドル型磁気抵抗効果素子の製造方法の第 2 の例について図 8 を基に以下に説明する。第 2 の例の製造方法において、図 1 ~ 図 3 に示す構造の磁気抵抗効果型薄膜素子を製造するためには、基板上に PtMn からなる反強磁性層 1 と、第 1 の固定磁性層 1 1 と非磁性中間層 1 0 と第 2 の固定磁性層 1 2 と非磁性導電層 3 とフリー磁性層 4 (第 1 のフリー層 1 3 と第 2 のフリー層 1 4 からなる) と保護層 5 を順次積層する。以上の積層構造において主要な層の積層状態を図 8A に示す。図 8A においては説明の簡略化のために反強磁性層 1 と第 1 の固定磁性層 1 1 と第 2 の固定磁性層 1 2 とフリー磁性層 4 のみを示し、これらを主体として以下に説明する。

【0118】なおここで、第 1 の固定磁性層 1 1 と第 2 の固定磁性層 1 2 を成膜する場合にトラック幅方向に対して直交する方向に磁場を印加しても良い。また、フリー磁性層 4 を成膜する場合には、トラック幅方向に沿う第 1 番目の方向 D_1 (あるいは D_1 方向と 180 度反対の D_{11} 方向) に第 1 番目の磁界 H_1 を印加してフリー磁性層 4 の一軸異方性をトラック幅方向に揃えておくことが好ましい。

【0119】これらの各層を積層した積層体を得たならば、PtMn の反強磁性層 1 を規則構造とするための第 2 番目の熱処理 (503K ~ 553K; 230°C ~ 280°C に 60 分 ~ 480 分) 程度加熱する熱処理) をトラック幅方向に直交する第 2 番目の方向 D_1 に 400 kA

／m以上の強い第2番目の磁界 H_{11} を印加しながら図8Bに示すように行う。なおここで、印加する第2番目の磁界 H_{11} の強さが8 kA/m～80 kA/m程度の弱い磁場で、かつ、第2の固定磁性層の磁気的膜厚が第1の固定磁性層の磁気的膜厚より厚い場合は、各層の磁化の状態が異なり、第2番目の方向 D_{11} に対して180度反対方向の第3番目の方向 D_{11} に第2番目の磁界 H_{11} を印加する必要がある。この第2番目の磁界を印加して第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12を磁化する場合の磁化の方向は、先に図7と表1、表2を基に説明した場合と同等であるので、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚と第2の固定磁性層12の磁気的膜厚の大小関係と印加磁界の大小関係を検討して表1と表2を基に先に説明した場合と同様に磁界印加方向を決定すれば良い。

【0120】例えば、表1に示す場合のように第1の固定磁性層11の磁気的膜厚が大きい場合は、8 kA/m～80 kA/mの範囲の印加磁界であっても、400 kA/m以上の印加磁界の場合であっても、印加磁界の方向に第1の固定磁性層11の磁化の向きを揃え、印加磁界の方向と反対方向に第2の固定磁性層12の磁化の向きを揃えることができる。また、表2に示すように第2の固定磁性層12の磁気的膜厚が大きい場合は、8 kA/m～80 kA/mの範囲の印加磁界では印加磁界の方向と逆方向に第1の固定磁性層の磁化の向きを揃え、印加磁界の方向に第2の固定磁性層の磁化の向きを揃えることができ、400 kA/m以上の印加磁界の場合は、印加磁界の方向に第1の固定磁性層11の磁化の方向を揃え、印加磁界と反対方向に第2の固定磁性層12の磁化の向きを揃えることができる。

【0121】前述の400 kA/m以上の強い第2番目の磁界 H_{11} を印加して行う第1番目の熱処理によって反強磁性層1の規則化がなされて強い交換結合磁界を第1の固定磁性層11に作用させて第1の固定磁性層11の磁化の方向は第2番目の磁界 H_{11} の方向 D_{11} に向くとともに、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12との間で発生される交換結合磁界（RKKY相互作用）により第2の固定磁性層12の磁化を第1の固定磁性層11の磁化の方向と180度反対方向の第3番目の方向 D_{11} に固定することができる。また、フリー磁性層4の一軸異方性の磁化容易軸の方向は、磁界 H_{11} を第2番目の方向 D_{11} に印加した場合はトラック幅方向に直交する方向 D_{11} 、 D_{11} に平行な方向に向けられるか、あるいは元の一軸異方性の磁化容易軸の方向が分散した状態となる。

【0122】次に、図8Cに示すようにトラック幅方向に平行な方向 D_{11} （あるいは180度反対側を向く方向 D_{11} ）に、先の第2番目の磁界 H_{11} よりも弱いアーナール磁界 H_{11} を印加しながら433 K～513 K（160°C～240°C）に加熱する磁場中アーナール処理を施すことでフリー磁性層4の一軸異方性の磁化容易軸の方向をト

ラック幅方向に平行な方向 D_{11} （あるいは180度反対側を向く D_{11} 方向）に揃える。なお、この工程で行う磁場中アーナール処理は、必要に応じて行えば良く、省略した上で後述の書きヘッドの製造工程を実施しても差し支えない。

【0123】次に、磁化の方向を図8Cに示すように揃えた積層体の両側に、図2に示すような縦バイアス層7と電流リード層8を形成後、図5に示すようにインダクティブヘッド h_2 を形成するための書きヘッド形成プロセスを図8Dに示すように実施する。このインダクティブヘッド h_2 の製造には、積層体上に上部ギャップ層166と上部シールド層167を形成し、この上部シールド層167をインダクティブヘッド用の下部コア層167として兼用し、その上にギャップ層174を形成し、その上に平面的に螺旋状となるようにパターン化された誘導コイル176をフォトリソグラフィ法によって形成する。次にこの誘導コイル176を覆うように絶縁材料層177を形成する。この絶縁材料層177を形成する際に樹脂層を塗布してから硬化させるために473 K～553 K（200°C～280°C）の範囲の温度に加熱する熱処理を行う。熱処理後に上部コア層178を形成し、この上部コア層178を加工して書き用磁気ギャップWGを構成した後保護層179を形成する。

【0124】ここで先の樹脂硬化のための熱処理において473 K（200°C）以上に加熱すると、図8Eに示すように積層体の上下に上部シールド層167と下部シールド層163を設けていてもフリー磁性層4及び下部シールド層163及び上部シールド層167の一軸異方性の磁化容易軸は方向性が乱れ、いわゆる異方性分散を生じる。よって次に、図8Fに示すように再度トラック幅方向に平行な方向 D_{11} に400 kA/m以下の第3番目の磁界 H_{11} を印加しながら433 K～513 K（160°C～240°C）の範囲の第3番目の熱処理温度 T_{11} に加熱する磁場中アーナール処理を施すことで、第1の固定磁性層11と第2の固定磁性層12の磁化の向きをトラック幅方向に直交する第2番目の方向 D_{11} に対して角度 θ だけ傾斜させた第4番目の方向 D_{11} に向けることができるとともに、フリー磁性層4及び下部シールド層163及び上部シールド層167の一軸異方性の磁化容易軸の方向をトラック幅方向に平行な方向 D_{11} に揃えることができる。ここで傾斜角度 θ の制御は、第3番目の磁界 H_{11} の大きさで制御することができるが、この磁界があまり大きいと積層フェリピンド構造を崩してしまうので、積層フェリピンド構造の交換結合磁界よりも小さな磁界を印加することが好ましい。また、第3番目の磁界 H_{11} の大きさを調整するとともに、第3番目の熱処理温度 T_{11} を調節することによっても傾斜角度 θ の大きさを調節することが可能である。

【0125】次に、先の積層体の両側に設けた縦バイアス層7、7に対して先の第3番目の磁界 H_{11} を印加して

第2の固定磁性層12の磁化を傾斜させた方向と逆の第5番目の方向D₁₁に第4番目の磁界H₁₁を印加して縦バイアス層7の着磁を行う。ここで縦バイアス層7の着磁を行うには、これまで形成したもの全体を電磁石などの磁気発生装置の内部に設置し、室温で400 kA/m程度以上の磁場をフリー磁性層4の一軸異方性を付与した方向に印加することで行う。この処理により、縦バイアス層7の着磁を行うことができ、縦バイアス層7の着磁方向にはほぼ沿うようにフリー磁性層4の磁化の方向を揃えることができる。

【0126】以上のように製造された磁気抵抗型薄膜素子に対し、電流リード層8に対して検出電流を流すことで検出電流磁界H₁が作用しフリー磁性層4の磁化の向きを斜め方向に変化させてるので図8Gに示すようにフリー磁性層4の磁化方向が右斜め下向きとなり、結果的に固定磁性層11、12の磁化方向とフリー磁性層4の磁化方向が直交することになる。

【0127】以上の状態の磁気抵抗型薄膜素子に対して磁気記録媒体からの漏れ磁界が作用すると、固定磁性層11、12の磁化方向に対して直交していたフリー磁性層4の磁化の向きが、漏れ磁界の強さに応じて回転し、その回転角に応じた抵抗変化が生じるので、この抵抗変化に応じた検出電流変化を出力としてとらえることで磁気記録媒体からの漏れ磁界を検出することができる。

【0128】なお、前記第2の例の製造方法は、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚よりも第2の固定磁性層12の磁気的膜厚が大きい場合の構造の製造方法について述べたが、第1の固定磁性層11の磁気的膜厚が第2の固定磁性層12の磁気的膜厚よりも大きい場合の構造を製造する場合、更に第3番目の磁界H₁₁が、約240 A/m～400 kA/m以上の場合の印加方向について以下に説明する。固定磁性層11、12の磁気的膜厚と印加磁界の強さおよび方向の関係は先の第1の例の製造方法の説明において表1と表2を用いて説明した場合と類似の関係となる。この場合、表1、表2の場合と異なるのは、第1の固定磁性層11に既に反強磁性層1との交換異方性が作用していることであり、表1、表2と同じ磁界を印加しても完全にその矢印の方向に磁化を向けることはできずに、その方向に傾くこととなる。また、この場合においては、積層膜の上下にシールド層163、167が存在するために、印加した磁界の一部がシールド層163、167に吸われ、固定磁性層11やフリー磁性層4に作用する実効磁場は印加磁界の略半分以下となる。

【0129】よって、前記第2の例の製造方法において、前記第3番目の磁界H₁₁を印加する場合に略8 K～80 KA/m、あるいは、それ以上、略120 kA/m～400 kA/m以下の弱い磁界とする場合は、第3番目の磁界H₁₁をトラック幅方向と平行なD₁₁と180度反対方向の第3番目の方向D₁に向けて印加する。ま

た、第3番目の磁界H₁₁を印加する場合に、略120 kA/m～400 kA/m以上の磁界を印加する場合も、トラック幅方向と平行な方向D₁に向けるものとする。ただし、第3番目の磁界H₁₁を印加する場合に、400 kA/m以上の磁界を印加すると磁化の方向を角度θだけ傾斜させるように正確に制御することが容易ではないので、印加磁界としては8 K～80 KA/mあるいはそれ以上、略240 kA/m～400 kA/mの弱い磁界の方が好ましい。

【0130】「第2実施形態」図9は、本発明の第2実施形態のスピンドル型磁気抵抗効果素子の模式的構造断面図、図10は図9に示すスピンドル型磁気抵抗効果素子を磁気記録媒体との対向面から見た場合の構造を模式的に示す断面図である。この実施形態のスピンドル型磁気抵抗効果素子GMR2においても図1～図3に示すスピンドル型磁気抵抗効果素子と同様に、ハードディスク装置に設けられた浮上式スライダのトレーリング側端部などに設けられて、ハードディスクなどの磁気記録媒体の記録磁界を検出するものである。この第2実施形態のスピンドル型磁気抵抗効果素子GMR2は、固定磁性層11、12のみならず、フリー磁性層も非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断したものである。

【0131】図9と図10に示す構造において、図1～図3に示す第1実施形態の構造と同じものには同一符号を付してそれらの部分の詳細な説明は省略する。この第2実施形態の構造において、反強磁性層1の上に第1の固定磁性層11と非磁性中間層10と第2の固定磁性層12と非磁性導電層3が積層されている構造については先の第1実施形態と同等であるが、非磁性導電層3上に、第1のフリー磁性層20、非磁性中間層21、第2のフリー磁性層22、保護層5の順に積層されて積層体S2が構成されている。前記各層を構成する材料は先の実施形態のものと同等で良い。

【0132】即ち、第1の固定磁性層11及び第2の固定磁性層12は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。また非磁性中間層10は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。非磁性導電層3はCu、Crなどで形成されている。

【0133】また、本実施形態では、第1のフリー磁性層20と第2のフリー磁性層22との間に介在する非磁性中間層21は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。前記第1の固定磁性層11の磁化と第2の固定磁性層12の磁化は、互いに反平行に磁化されたフェリ状態となっており、例えば第1の固定磁性層11の磁化は先の第1実施形態の構造と同等に、第2の固定磁性層12の磁化は先の第1実施形態の構造と同等の方

向に固定されている。

【0134】図9と図10に示す非磁性導電層3の上には、第1のフリー磁性層20が形成されている。図9、図10に示すように前記第1のフリー磁性層20は2層で形成されており、非磁性導電層3に接する側にCoからなる第1のフリー層27が形成されている。非磁性導電層3に接する側にCoからなる第1のフリー層27を形成するのは、第1に $\Delta R/R$ を大きくできることと、第2に非磁性導電層3との元素拡散を防止するためである。前記第1のフリー層27の上にはNiFe合金などからなる第1のフリー層28が形成されている。さらに、第2のフリー層28上には、非磁性中間層21が形成されている。そして前記非磁性中間層21の上には、第2のフリー磁性層22が形成され、さらに前記第2のフリー磁性層22上には保護層5が形成されている。前記第2のフリー磁性層22は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。

【0135】図9、図10に示す反強磁性層1から保護層5までの積層体S2は、その側面が傾斜面に削られ、前記積層体S2は断面等脚台形状に形成されている。前記積層体S2の両側には、先の実施形態の構造と同様に縦バイアス層7と電流リード層8が積層されている。前記縦バイアス層7が図示X1方向と180度反対方向に磁化されていることによって縦バイアス磁界がフリー磁性層20に印加され、フリー磁性層20の磁化が検出電流磁界が印加されていない状態において図示X1方向と概略180度反対方向に揃えられている。

【0136】図9、図10に示す第1のフリー磁性層20と第2のフリー磁性層22の間には非磁性中間層21が介在され、前記第1のフリー磁性層20と第2のフリー磁性層22間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1のフリー磁性層20の磁化と第2のフリー磁性層22の磁化は互いに反平行状態(フェリ状態)にされている。

【0137】図9、図10に示すスピナバルブ型薄膜磁気素子では、例えば第1のフリー磁性層20の膜厚 t_{F1} は、第2のフリー磁性層22の膜厚 t_{F2} よりも小さく形成されている。そして、前記第1のフリー磁性層20の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F1}$)は、第2のフリー磁性層22の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F2}$)よりも小さく設定されており、検出電流磁界が作用していない状態において、縦バイアス層7から図示X1方向と概略180度反対方向にバイアス磁界が与えられると、磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F2}$)の大きい第2のフリー磁性層22の磁化が前記バイアス磁界の影響を受けて図示X1方向と概略180度反対方向に揃えられるとともに、前記第2のフリー磁性層22との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F2}$)の小さい第1のフリー磁性層20の磁化は図示X1に近い方向に揃えられ

10

20

30

40

50

るようになっている。

【0138】ただし、本第2実施形態においても、検出電流磁界 H_s が作用した場合、フリー磁性層20、22の磁化の方向と固定磁性層11、12の磁化の方向が図3に示す場合と同等の角度関係となる。しかし、本第2実施形態ではフリー磁性層が第1のフリー磁性層20と第2のフリー磁性層22の2層構造からなるので、磁気的膜厚の大きな第2のフリー磁性層22の磁化の方向が図3に示す第1実施形態の場合のフリー磁性層4の磁化 M_s の方向と同じ方向になり、磁気的膜厚の小さな第1のフリー磁性層20の磁化の方向が図3に示す第1実施形態の場合のフリー磁性層4の磁化 M_s の方向と180度反対方向になる。

【0139】図9と図10のY方向から磁気記録媒体の外部磁界が侵入してくると、前記第1のフリー磁性層20と第2のフリー磁性層22の磁化はフェリ状態を保ちながら、前記外部磁界の影響を受けて回転する。そして、 $\Delta R/R$ に奇与する第1のフリー磁性層20の変動磁化と、第2の固定磁性層12の固定磁化との関係によって電気抵抗が変化し、外部磁界が電気抵抗変化として検出される。その際、縦バイアス層7の磁化によりフリー磁性層20、22に縦バイアス磁界が印加されているので、バルクハウゼンノイズを生じない円滑な抵抗変化を得ることができる。本第2実施形態の構造において、その他の効果については先の第1実施形態のスピナバルブ型磁気抵抗効果素子と同等であり、検出電流磁界 H_s が作用した場合に第1のフリー磁性層20の磁化の向きと第2のフリー磁性層22の磁化の向きとが共に固定磁性層2の磁化の向きと直交するように構成され、これによりアシンメトリを減少させることができる。

【0140】「第3実施形態」図11と図12は、本発明の第3の実施形態のスピナバルブ型薄膜磁気素子の構造を模式図的に示した横断面図である。この形態の磁気抵抗効果型薄膜磁気素子GMR3は、図1～図3に示すように基板に近い底部側に反強磁性層を備えたボトムタイプスピナバルブ型磁気抵抗効果素子の膜構成を逆にして形成したトップタイプスピナバルブ型磁気抵抗効果素子である。

【0141】即ち、図11と図12に示すスピナバルブ型薄膜磁気素子GMR3にあっては下地膜30、NiFe膜32、Co膜33(NiFe膜32とCo膜33を合わせてフリー磁性層31)、非磁性導電層34、第2の固定磁性層35、非磁性中間層36、第1の固定磁性層37、反強磁性層38、保護層39の順で積層されて積層体S3が構成されている。前記反強磁性層38は、先の第1実施形態の反強磁性層1と同等のPtMn合金あるいはXMn合金、XMnX'合金で形成されていることが好ましい。

【0142】次に図11と図12に示す第1の固定磁性層37と第2の固定磁性層35との間に介在する非磁性

中間層36は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。図11と図12に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR3では、例えば第1の固定磁性層37の膜厚 t_{P1} は、第2の固定磁性層35の膜厚 t_{P2} と異なる値で形成され、例えば前記第1の固定磁性層37の膜厚 t_{P1} の方が、第2の固定磁性層35の膜厚 t_{P2} よりも厚く形成されている。前記第1の固定磁性層37の磁化と第2の固定磁性層35の磁化は、互いに反平行に磁化されたフェリ状態となっており、例えば第1の固定磁性層37及び第2の固定磁性層35の磁化は図11に示すY方向成分及び図12に示すX1方向成分を有する方向に固定されている。なお、図12に示すように、下地膜30から保護層39までの積層体S3の左右両側には、先の第1実施形態の構造と同様に縦バイアス層7と電流リード層8とが形成されており、前記縦バイアス層7から縦バイアス磁界が印加されることによって、フリー磁性層31の磁化が図示X1方向と180度反対方向に揃えられている。

【0143】ただし、本第3実施形態においても、検出電流磁界 H_j が作用した場合、フリー磁性層31の磁化の方向と固定磁性層35、37の磁化の方向が図3に示す場合とから類推されるものと同様の角度関係となる。

【0144】図11と図12におけるスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR3では、前記電流リード層8からフリー磁性層31、非磁性導電層34、及び固定磁性層35、37に検出電流が与えられる。記録媒体から図12に示す図示Y方向に磁界が与えられると、フリー磁性層31の磁化は図示X1方向と180度反対方向からY方向に変動し、このときの非磁性導電層34とフリー磁性層31との界面、及び非磁性導電層34と第2の固定磁性層35との界面でスピニに依存した伝導電子の散乱が起こることにより、電気抵抗が変化し、記録媒体からの漏れ磁界が検出される。その際、縦バイアス層7の磁化によりフリー磁性層31に縦バイアス磁界が印加され、検出電流により検出電流磁界 H_j が作用される結果として図3に示す磁化方向から類推される場合と同様に、フリー磁性層31の磁化の方向と固定磁性層35、37の磁化の方向が90度に交差した状態となり、この状態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR3に記録媒体からの漏れ磁界が作用してフリー磁性層31の磁化の向きが回転するので、大きな抵抗変化を得ることができるとともに、縦バイアスによりフリー磁性層31を単磁区化できるのでバルクハウゼンノイズを生じない円滑な抵抗変化を得ることができる。本第3実施形態の構造において、その他の効果については先の第1実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子と同等であり、即ち、検出電流磁界 H_j が作用した場合にフリー磁性層31の磁化の向きが第1の固定磁性層37あるいは第2の固定磁性層35の磁化の向きと直交するように構成され、こ

れによりアシンメトリを減少させることができる。

【0145】「第4実施形態」図13は、本発明の第4実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を模式的に示した横断面図、図14は図13に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子を記録媒体との対向面から見た場合の断面構造を模式的に示す断面図である。この第4実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR4は、図9と10に示すスピナルブ型薄膜磁気素子の積層の順番を逆にしたものである。即ち、下から、下地膜40、第2のフリー磁性層41、非磁性中間層42、第1のフリー磁性層43、非磁性導電層46、第2の固定磁性層47、非磁性中間層48、第1の固定磁性層49、反強磁性層50、及び保護層51の順で積層されたトップタイプのスピナルブ型磁気抵抗効果素子とされている。前記下地膜40及び保護層51は例えばTaなどで形成されている。前記反強磁性層50は、PtMn合金、XMn合金、あるいはXPtX'合金で形成されていることが好ましい。

【0146】第1の固定磁性層49及び第2の固定磁性層47は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。また非磁性中間層48は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。さらに非磁性導電層46はCuなどで形成されている。

【0147】図14に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR4では、フリー磁性層が2層に分断されて形成されており、非磁性導電層46に接する側に第1のフリー磁性層43が形成され、もう一方のフリー磁性層が、第2のフリー磁性層41となっている。図14に示すように前記第1のフリー磁性層43は2層で形成されており、非磁性導電層46に接する側に形成された第1フリー層45はCo膜で形成されている。また、非磁性中間層42に接する側に形成された第1フリー層44と、第2のフリー磁性層41は、例えばNiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されていて、これらの積層により積層体S4が構成されている。

【0148】図14に示す下地膜40から保護層51までの構成の積層体S4は、その側面が傾斜面に削られ、前記積層体S4は断面台形状で形成されている。前記積層体S4の傾斜部分の両側には、先の構造と同様に縦バイアス層7と電流リード層8とが積層されており、前記縦バイアス層7が図示X1方向と180度反対方向に磁化されることによりバイアス磁界がフリー磁性層43に作用され、フリー磁性層43の磁化が図示X1方向と概略180度反対方向に揃えられている。

【0149】図13と図14に示す第1のフリー磁性層43と第2のフリー磁性層41の間には非磁性中間層42が介在され、前記第1のフリー磁性層43と第2のフ

リ一磁性層41間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1のフリー磁性層43の磁化と第2のフリー磁性層41の磁化は180度反対方向の反平行状態(フェリ状態)となっている。図14に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR4では、例えば第1のフリー磁性層43の膜厚 t_{F1} は、第2のフリー磁性層41の膜厚 t_{F2} より大きく形成されている。そして前記第1のフリー磁性層43の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F1}$)は、第2のフリー磁性層41の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F2}$)よりも大きくなるように設定されており、
10 縦バイアス層7から図示X1方向と180度反対方向にバイアス磁界が与えられると、磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F1}$)の大きい第1のフリー磁性層43の磁化が前記バイアス磁界の影響を受けて、図示X1方向と概略180度反対方向に揃えられ、前記第1のフリー磁性層43との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F1}$)の小さい第2のフリー磁性層41の磁化は図示X1方向に近い方向に揃えられる。また本発明では、第1のフリー磁性層43と第2のフリー磁性層41との間に介在する非磁性中間層42は、Ru、Rh、
20 Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。

【0150】なお、本実施形態において、第1のフリー磁性層43の膜厚 t_{F1} が、第2のフリー磁性層41の膜厚 t_{F2} よりも小さく形成されても良く、前記第1のフリー磁性層43の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F1}$)が第2のフリー磁性層41の磁気的膜厚($M_s \cdot t_{F2}$)よりも小さく設定されていてもよい。ただしその場合、大きな磁気的膜厚とした第2のフリー磁性層41の磁化の方向がX1方向と概略180度反対方向に向き、小さな磁気的膜厚とした第1のフリー磁性層43の磁化の方向がX1方向に近い方向となる。

【0151】ただし、本第4実施形態においても、検出電流磁界 H_i が作用した場合、フリー磁性層41、43の磁化の方向と固定磁性層49、47の磁化の方向が図3から類推されるものと同様の角度関係となる。しかし、本第4実施形態ではフリー磁性層が第1のフリー磁性層43と第2のフリー磁性層41の2層構造からなるので、磁気的膜厚の大きな第1のフリー磁性層43の磁化の方向が前記第3の実施形態の場合のフリー磁性層4の磁化 M_4 の方向に相当する方向になり、磁気的膜厚の小さな第2のフリー磁性層41の磁化の方向が第3の実施形態の場合のフリー磁性層4の磁化 M_4 の方向と180度反対方向になる。

【0152】図14に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子GMR4に対して図示Y方向から磁気記録媒体からの外部磁界が侵入してくると、前記第1のフリー磁性層43と第2のフリー磁性層41の磁化はフェリ状態を保ちながら、前記外部磁界の影響を受けて回転する。そして $\Delta R/R$ に寄与する第1のフリー磁性層43の磁化方
50

向と、第2の固定磁性層47の固定磁化との関係によって電気抵抗が変化し、外部磁界の信号が検出される。その際、縦バイアス層7の作用させるバイアス磁界によりフリー磁性層41、43が単磁区化されているので、バルクハウゼンノイズを生じない円滑な抵抗変化を得ることができる。

【0153】本第4実施形態の構造において、その他の効果については先の第1実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子と同等であり、検出電流磁界 H_i が作用した場合にフリー磁性層43、41の磁化の向きが第1の固定磁性層49あるいは第2の固定磁性層47の磁化の向きと直交するように構成され、これによりアシンメトリを減少させることができる。

【0154】

【実施例】以下の積層構造のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を用いて試験を行った。アルチック(A1:O_x-TiC)基板/アルミナ下地層(A1:O_x下地層)/下部シールド層; 非晶質Co-Nb-Zr合金膜; 厚さ 1×10^{-6} m)/下部ギャップ層(A1:O_x層; 厚さ500Å)/下地層; Ta(厚さ30Å)/反強磁性層; PtMn(厚さ300Å)/第1の固定磁性層; Co(厚さ15Å)/非磁性中間層; Ru(厚さ8Å)/第2の固定磁性層; Co(厚さ20Å)/非磁性導電層; Cu(厚さ27Å)/フリー磁性層; Co(厚さ10Å)+NiFe(厚さ50Å)/保護層; Ta(厚さ30Å)/上部ギャップ層(A1:O_x層; 厚さ850Å)/上部シールド層; パーマロイ(Ni-Fe合金; 厚さ 3×10^{-6} m)の積層構造の積層体に対し、その両側に縦バイアス層(Co-Pt合金、厚さ300Å)と電流リード層(Cr層、厚さ1200Å)を積層した構造のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を製造する場合に本発明方法を適用した。

【0155】先に図7を基に説明した製造方法を実施して上記積層構造のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を製造した。まず、アルチック(A1:O_x-TiC)/A1:O_x下地層からなるウェハ基板上にスパッタ装置を用いて厚さ 1×10^{-6} mの下部シールド層を成膜した。このウェハ基板上にスパッタ装置を用いて厚さ500Åの下部ギャップ層(アルミナ層)を形成し、その上にTa下地層、反強磁性層を成膜し、次に、第1の固定磁性層と非磁性中間層と第2の固定磁性層と非磁性導電層を順次先に記載した膜厚になるように成膜した。また、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層を成膜する場合に、個々にトラック幅方向に対して90度交差する方向に磁界8kA/mを印加した。続いて非磁性導電層を成膜し、続いてトラック幅方向に沿う第1の方向に第1の磁界を印加しながらフリー磁性層を成膜し、更に保護層をスパッタ装置で形成した。

【0156】次に、図7Bに示すようにトラック幅方向に対して直交する方向D₁に対し、角度θ(θ=10°)

。)だけ傾斜させた第2の方向D₂に第2の磁界H₂(磁界強さ400kA/m)を印加しながら第1の熱処理温度(523K; 250°C)に加熱後徐冷する第1の熱処理(第1のアニール処理)を施す。この第1の熱処理によって反強磁性層を構成するPtMn合金が不規則構造から規則構造化されて磁気的交換結合力が発揮され、第1の固定磁性層の磁化の向きを第2の方向D₂に固定することができる。また、この第1の熱処理の際に第2の磁界H₂を印加している間、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化は両方とも第2の方向D₂に向くが、第2の磁界H₂を取り去ると第1の固定磁性層が第2の固定磁性層に作用させる磁気的交換結合磁界(RKK相互作用)によって第2の固定磁性層の磁化の向きは第1の固定磁性層の磁化の向きと180度反対向きの反平行状態となる。

【0157】この後、先の第2の磁界H₂よりも小さな第1の磁界H₁をトラック幅方向に平行な第1の方向D₁に印加しながら473K(200°C)に加熱するアニール処理を施し、フリー磁性層の一軸異方性の向きをトラック幅方向に揃えた。次に、リフトオフ法により縦バイアス層と電極層を形成した後、スパッタ法により上部ギャップ、アルミナ層を850Å成膜した。次に、メッキ法によりパーマロイ(Ni-Fe合金)の上部シールド層を形成し、その後、記録ギャップ形成に引き続きコイルを形成した。このコイル上に上部コアを形成するが、その前にコイルを絶縁性の樹脂で覆う必要がある。この工程において、この積層体全体を473K(200°C)に60分間加熱するアニール処理を施した。このアニール処理は、図4ないし図6に示す磁気誘導型書きヘッドを備えた実用的な薄膜磁気ヘッドを製造する場合に用いるコイル部絶縁用の熱硬化性樹脂を硬化させる場合の温度と処理時間に相当する。この熱処理によりフリー磁性層及び下部シールド層及び上部シールド層の一軸異方性の方向はばらつくことになる。

【0158】次に、先の第2の磁界H₂よりも十分に小さな第3の磁界H₃(磁界強さ80kA/m)をトラック幅方向に平行な方向D₁に印加しながら473K(200°C)に加熱後に徐冷する第2の熱処理を施してフリー磁性層、下部シールド層及び上部シールド層の一軸異方性の方向をトラック幅方向に対して平行な方向D₁に揃える。次に、トラック幅方向に平行な第4の方向D₄に第4の磁界H₄を印加してハードバイアス層を第4の方向に着磁することでスピンドル型磁気抵抗効果素子を得た。

【0159】図15は以上の製造方法により得られた2枚の上部シールド層形成済みウェハにおいて、ウェハ上に成膜したままの状態において上部シールド層の異方性磁界の測定結果と、書きヘッド形成時に付加されると想定される熱処理が施された後の上部シールド層の異方性磁界の測定結果と、前記第2の熱処理が施された後の上

10

20

30

40

50

部シールド層の異方性磁界の測定結果を示す図である。図15に示す測定結果から、上部シールド層の異方性磁界の値は書きヘッド形成時の熱処理により一旦減少していることがわかるが、第2の熱処理により元の異方性磁界の大きさに回復していることがわかる。

【0160】図16は以上の製造方法により得られた2枚の上部シールド層形成後のウェハにおいて、ウェハ上に成膜したままの状態において上部シールド層の異方性角度分散の測定結果と、書きヘッド形成時に付加されると想定される熱処理が施された後の上部シールド層の異方性角度分散の測定結果と、前記第2の熱処理が施された後の上部シールド層の異方性角度分散の測定結果を示す図である。図16において異方性角度分散として示す α_{av} とは、上部シールド層を形成したウェハ全面において、目的とする意図した磁化容易軸の方向に対して特定の角度以内とされた領域がウェハ全面に対して90%存在する場合の前記特性の角度を測定するもので、異方性角度分散 α_{av} が5度とは、目的とする意図した磁化容易軸の方向に対して5度以内のずれとされた領域がウェハ全面に対して90%の面積比率で存在することを意味する。換言すると、ウェハ全面において局所的な部分での磁化容易軸のずれが、意図した方向から5度以上ずれている領域が10%存在することを意味する。

【0161】図16に示す測定結果から、上部シールド層をメッキにより形成したままの状態では、異方性の角度分散は5度であるが書きヘッド形成時アニール処理を施すと、異方性の角度分散は大きくなり、その後の最終工程後は異方性の角度分散は低下することが明らかである。換言するとウェハ全面レベルにおいて先の製造方法によれば、磁化容易軸方向の異方性分散を抑えることができる。

【0162】図17は、図16に示す磁化容易軸の方向の局所的な変動に関して簡略図により説明するためのもので、図17Aに示すように上部シールド層をメッキしたままの状態では磁化容易軸の方向 a がある程度整っているものが、図17Bに示すように書きヘッド形成時アニール処理時に磁化容易軸の方向が乱れ、更に最終工程においてはその乱れが修正されてメッキのままの磁化容易軸の異方性の方向よりも更に良好に整えられていることを示す。

【0163】ここで例えば、上部シールド層が図17Bに示す状態のまま磁気ヘッドを製造すると、書きヘッドで磁気記録媒体に磁気情報を書き込む度に上部シールド層の磁化の状態が異なることになり、これにより影響を受けて読みヘッドが磁気記録媒体の磁気情報を読み出す際の周囲の磁気条件が一定にならなくなるので、再生出力が変動する等、磁気情報の読み出しが低下するおそれがある。この点において図17Cに示すように上部シールド層の磁化容易軸の向きが整っていると、書きヘッドで繰り返し磁気信号の書き込みを行っても上部シール

ド層の磁化の方向性において変動はないので、上部シールド層の状態がスピンドル型磁気抵抗効果素子の読み出精度に悪影響を与えることはない。また、ウェハ全面において異方性の角度分散が小さいということは、1枚のウェハから多数のスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造する場合に上部シールド層の異方性の角度分散がウェハの形成位置によって影響を受け難いこと、換言すると、1枚のウェハから多数のスピンドル型磁気抵抗効果素子を製造する場合の歩留まりを向上できることを意味する。

【0164】図18は先の製造方法における工程毎のフリー磁性層の保磁力の値を示すもので、3枚のウェハを用い、各ウェハにフリー磁性層を成膜後にフリー磁性層のトラック幅方向と直交する方向での保磁力を測定したところ、3つの試料においていずれも80A/m前後以下の保磁力であり、このウェハに対して前記方法によって種々の工程を施し、書込ヘッド形成時のアニールを経た後で測定したフリー磁性層の保磁力は160~240A/mに上昇したことが明らかである。更に、第2の熱処理後のフリー磁性層の保磁力は成膜直後よりも低いレベルに低下したので本発明の効果が得られることが明らかである。

【0165】図19は先の製造方法の工程毎のフリー磁性層の異方性磁界の値を3つのウェハ試料で測定した結果を示すもので、成膜後においては3.5度前後の異方性磁界であったものが、書込ヘッド形成時のアニール処理において異方性磁界が低下し、第2の熱処理後においては、フリー磁性層の異方性磁界が上昇することが明らかであり、第2の熱処理後において成膜後の測定結果と大差ない320A/m前後の値に制御できることが明らかである。

【0166】図20は、フリー磁性層の磁化容易軸の方向の変動について簡略図により説明するためのもので、図20Aに示すように各層を形成したままの状態では異方性磁界の方向aが整っているものが、図20Bに示すように書込ヘッド形成時アニール処理時においてフリー磁性層の異方性磁界の方向aが乱れ、第2の熱処理後においてはフリー磁性層の異方性磁界の方向が整えられる事を示している。

【0167】図21は先に製造した積層体の第1の固定磁性層と第2の固定磁性層に対して左側から右向きにハードバイアス層からの縦バイアス磁界が作用した状態において、各固定磁性層の平面位置毎の磁化の向きをマイクロマグネットック・シュミレーションで測定した結果を示す。図21には第2の固定磁性層に対してハードバイアス層から縦バイアス磁界が作用された状態において、第2の固定磁性層の位置毎の磁化の方向と第1の固定磁性層の位置毎の磁化の方向とがどのような影響を受けるかについて位置毎に矢印により記載している。また、この積層体の構造において総合的交換結合磁界H..

を72kA/mとした。

【0168】この構造においてハードバイアス磁界を受けて磁化の向きに影響を受けるのは主に磁気的膜厚の大きな第2の固定磁性層の磁化であり、この影響を受けた第2の固定磁性層の磁化の向きに対して180度反対向きに第1の固定磁性層の磁化の向きが向こうとする。特に、第2の固定磁性層において周辺部分がハードバイアス層の磁化の影響を受けて磁化の向きが斜め10度から大きくずれており、これらの大きく角度ずれした第2の固定磁性層の周縁部の磁化の向きに合わせて第1の固定磁性層の周縁部分の磁化の向きが規定の斜め10度から大きくずれている。

【0169】図21に示すような状態でもスピンドル型磁気抵抗効果素子としての機能を十分に得ることができるが、スピンドル型磁気抵抗効果素子としての安定性をより高くするという目的のために、第2の固定磁性層と第1の固定磁性層の周縁部分での磁化の向きをより完全に揃えるためには、総合的交換結合磁界(H..)を72kA/mよりも大きな値とすることが好ましいことがわかる。この図21に示す固定磁性層の傾斜の状態から見て、第2の固定磁性層の周縁部分での磁化の向きのばらつきをできる限り少なくするためには、余裕を見て、総合的交換結合磁界(H..)を96kA/mよりも大きな値とすることが好ましいと思われる。

【0170】ここで固定磁性層の周縁部分でハードバイアス磁界に影響されてハードバイアス層の磁界が作用する方向に磁化が向こうとする一方で、第2の固定磁性層はこれと反対方向に傾くように交換異方性を作用させていたため、このフラストレーションにより磁化の向きの乱れが大きく強調される(スピンドル型磁気抵抗効果素子としての安定性が損なわれるおそれもある。また、固定磁性層の周縁部分とは、薄膜磁気ヘッドにおいてはABS面近傍の磁気記録媒体に最も近い位置を含む。磁気記録媒体に最も近い部分においては、反磁界の影響で固定磁性層の磁化の乱れが強調されるということになり、スピンドル型磁気抵抗効果素子としての安定性に特に影響が大きいものと思われる。このため、固定磁性層の傾斜角θを30度以下、より好ましくは15度以下、最も好ましくは10度以下に抑えるのは、出力低下を抑える以外にこのような不安定性を抑える目的も有している。

【0171】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、磁化の向きを交差させて設けるフリー磁性層と第1の固定磁性層

および第2の固定磁性層を有し、検出電流を流す構成のスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子において、検出電流を流して検出電流磁界を作成させた状態においてフリー磁性層に対して検出電流磁界を作成させてフリー磁性層の磁化の方向を傾斜させた場合に、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の固定磁化の方向に対してフリー磁性層の磁化の方向を直交状態に近くなるように角度θ傾斜させたので、磁気記録媒体からの外部磁界が作用した状態と作用していない状態の抵抗変化を大きくすることができると同時に出力のアンバランス特性の指標となるアシンメトリを減少させることができる。前記傾斜角度θを2度以上30度以下とすることで出力を十分に高くした上で出力に影響を及ぼすことなくアシンメトリを減少させることができ、傾斜角度θを3度以上15度以下とすることで出力に影響を及ぼすことなくアシンメトリを更に減少させることができ、3度以上10度以下とすることで出力に影響を及ぼすことなくより一層アシンメトリを減少させることができる。

【0172】第1の固定磁性層と第2の固定磁性層を設ける場合、第1の固定磁性層よりも第2の固定磁性層の磁気的膜厚を大きくすることで第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化の方向を反平行状態とした上で反強磁性層から受ける磁気的交換結合力を効率良く発揮させて磁化の固定力を強く作用させることができ、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化の向きを安定保持する力を強く発揮させることができるとともに、抵抗変化率 $\Delta R/R$ も大きな値に保つことができる。第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化を強く固定するために用いる反強磁性層の構成材料としてXMn合金、XMnX'合金を用いることが好ましく、これらの合金を用いることでFeMn等の従来材料よりもプロッキング温度が高く、より高温で安定した磁化の固定力を得ることができる。

【0173】また、反強磁性層が第1の固定磁性層と第2の固定磁性層に作用させる総合的交換結合磁界の値として96kA/m以上とするならば、縦バイアス層が作用させる縦バイアス磁界により磁化の方向に影響を受け難い安定した固定磁化を有するスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0174】次に本発明の製造方法によれば、固定磁性層を2層に分断した構造のスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を製造する際に反強磁性層に対しトラック幅方向に直交する方向に対して角度θ傾斜させた第2の磁界を印加しつつ第1の熱処理を施すことで固定磁性層の磁化の方向をトラック幅方向に直交する方向から予め角度θ傾斜させておくことができ、これにより検出電流磁界が作用した状態において固定磁性層とフリー磁性層が目的の角度で交差するように磁化の向きを調整できる。よって、本発明方法により検出電流磁界を作成させて磁気記録媒体からの磁気情報を読み出す場合に、高い出力を有したままアシンメトリの少ない高い読み出し精度を有するスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

したままアシンメトリの少ない高い読み出し精度を有するスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができるのである。

【0175】次に、前記第1の熱処理の後に第2の熱処理を行い、第2の熱処理においてフリー磁性層の一軸異方性の方向をトラック幅方向に揃えるならば、第1の熱処理と第2の熱処理の間に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を施して、記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程によりフリー磁性層や上下シールド層の一軸異方性の向きが乱れても、第2の熱処理時にフリー磁性層や上下シールド層の一軸異方性の向きを再度揃えることができるので、フリー磁性層や上下シールド層の一軸異方性の向きを揃えたスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0176】また、本発明の製造方法において、固定磁性層を2層に分断した構造のスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を製造する際にトラック幅方向と直交する方向に第2番目の磁界を印加しつつ第1番目の熱処理を施すことで反強磁性層による交換結合磁界を発揮させて第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化の向きを固定した後、縦バイアス層を形成し、フリー磁性層の一軸異方性の向きを整え、次いで第3番目の磁界を印加しつつ第2番目の熱処理を施すことで固定磁性層の磁化の向きをトラック幅方向に直交する方向から角度θ傾斜させることができるので、検出電流磁界が作用した状態において固定磁性層とフリー磁性層が目的の角度で交差するように磁化の向きを調整できる。よって、本発明方法により検出電流磁界を作成させて磁気記録媒体からの磁気情報を読み出す場合に、高い出力を有したままアシンメトリの少ない高い読み出し精度を有するスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0177】次に、前記第1番目の熱処理の後に第2番目の熱処理を行い、第2番目の熱処理において固定磁性層の磁化の向きを角度θ傾斜させるとともにフリー磁性層の一軸異方性の方向をトラック幅方向に揃えるならば、第1番目の熱処理と第2番目の熱処理の間に記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程を施し、記録用誘導型磁気ヘッドを形成するための熱処理工程によりフリー磁性層や上下シールド層の一軸異方性の向きが乱れても、第2番目の熱処理時にフリー磁性層や上下シールド層の一軸異方性の向きを揃えたスピナーバルブ型磁気抵抗効果素子を得ることができる。

【0178】前記各製造方法において用いる反強磁性層としてXMn合金、XMnX'合金を用いることができ、これらの合金であるならば、熱処理によって不規則構造の状態から規則構造の状態に変化させることができ、この熱処理時に特定の方向に磁界を印加することで固定磁性層の磁化の方向を磁界の方向に揃えることができる。

きる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係るスピナルブ型磁気抵抗効果素子の要部の積層構造を示す横断面図。

【図2】 図1に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子の積層構造を記録媒体との対向面側から見た断面図。

【図3】 本発明に係るスピナルブ型磁気抵抗効果素子の固定磁性層の磁化方向とフリー磁性層の磁化方向を示すもので、図3Aは磁化方向の第1の例を示す構成図、図3Bは磁化方向の第2の例を示す構成図。

【図4】 図1に示すスピナルブ型磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドの一例を示す斜視図。

【図5】 図4に示す磁気ヘッドの断面図。

【図6】 図4に示す磁気ヘッドの一部を断面とした斜視図。

【図7】 本発明の製造方法の第1の例を説明するためのもので、図7Aは反強磁性層と固定磁性層とフリー磁性層の積層状態の磁化の方向を示す図、図7Bは第1の熱処理工程後の磁化の方向を示す図、図7Cはフリー磁性層に一軸異方性を付与するための熱処理工程後の磁化の方向を示す図、図7Dは記録用誘導型磁気ヘッドの形成工程を示す図、図7Eは記録用誘導型磁気ヘッドの形成工程後の磁化の方向を示す図、図7Fは第2の熱処理工程後の磁化方向を示す図、図7Gはハードバイアス膜の着磁工程後の磁化方向を示す図である。

【図8】 本発明の製造方法の第2の例を説明するためのもので、図8Aは反強磁性層と固定磁性層とフリー磁性層の積層状態の磁化の方向を示す図、図8Bは第1番目の熱処理工程後の磁化方向を示す図、図8Cはフリー磁性層に一軸異方性を付与するための熱処理工程後の磁化方向を示す図、図8Dは記録用誘導型磁気ヘッドの形成工程を示す図、図8Eは記録用誘導型磁気ヘッドの形成工程後の磁化の方向を示す図、図8Fは第2番目の熱処理工程後の磁化を示す図、図8Gはハードバイアス膜の着磁工程後の磁化方向を示す図である。

【図9】 本発明に係る第2実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の横断面図。

【図10】 図9に示す第2実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を記録媒体との対向面側から見た断面図。

【図11】 本発明に係る第3実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の横断面図。

【図12】 図11に示す第3実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を記録媒体との対向面側から見た断面図。

【図13】 本発明に係る第4実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の横断面図。

【図14】 図13に示す第4実施形態のスピナルブ型磁気抵抗効果素子を記録媒体との対向面側から見た断面図。

【図15】 図15は実施例の積層体における上部シールド層の異方性磁界の工程毎の値を示すグラフ。

【図16】 図16は実施例の積層体における上部シールド層の異方性角度分散の工程毎の値を示すグラフ。

【図17】 図17は上部シールド層の工程毎の磁化容易軸の向きを示すもので、図17Aはメッキした状態の上部シールド層の磁化容易軸の方向を示す図、図17Bは書込ヘッド形成時アニール処理後の上部シールド層の磁化容易軸の方向を示す図、図17Cは第2の熱処理後の上部シールド層の磁化容易軸の方向を示す図である。

【図18】 図18は実施例の積層体におけるフリー磁性層の保磁力の工程毎の値を示すグラフ。

【図19】 図19は実施例の積層体におけるフリー磁性層の異方性磁界の工程毎の値を示す図である。

【図20】 図20はフリー磁性層の工程毎の磁化容易軸の方向を示すもので、図20Aは成膜した状態のフリー磁性層の磁化容易軸の方向を示す図、図20Bは書込ヘッド形成時アニール処理後のフリー磁性層の磁化容易軸の方向を示す図、図20Cは第2の熱処理後のフリー磁性層の磁化容易軸の方向を示す図である。

【図21】 図21は実施例の積層体における第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の位置毎の磁化の向きを示す図である。

【図22】 従来のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の一例を示す断面図。

【図23】 従来のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の単層構造の固定磁性層とフリー磁性層の磁化の方向の一例を示す図。

【図24】 従来のスピナルブ型磁気抵抗効果素子の複層構造の固定磁性層とフリー磁性層の磁化の方向の一例を示す図。

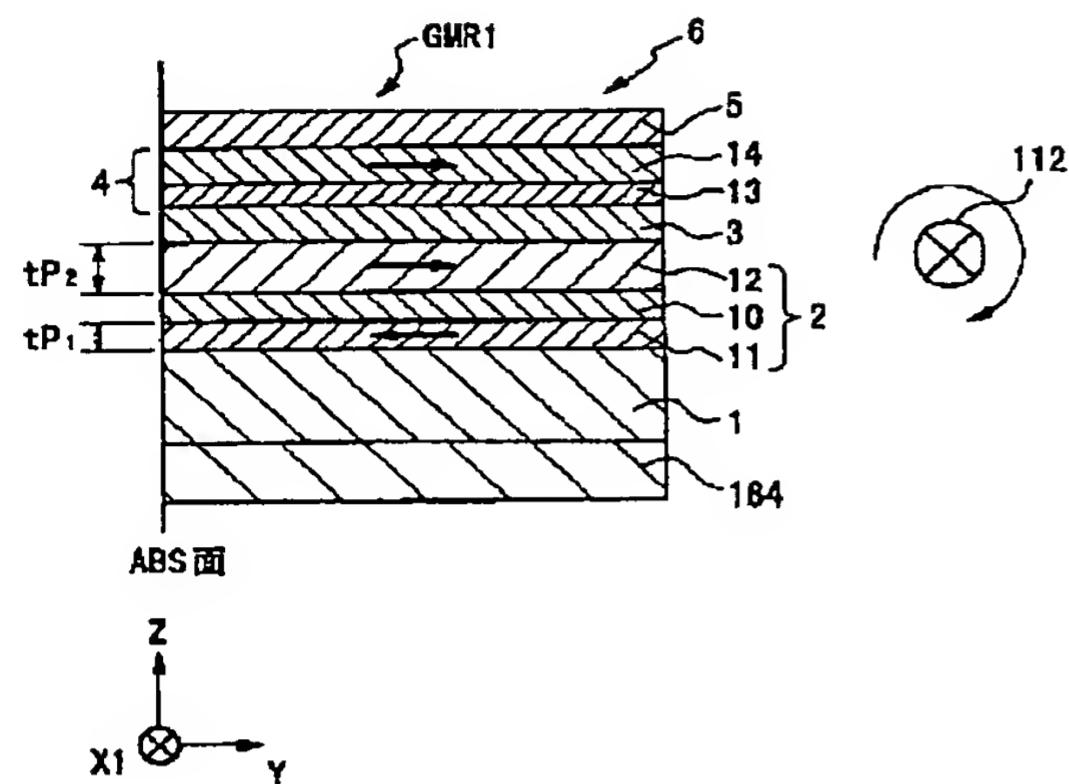
【図25】 従来の複層構造の固定磁性層を有するスピナルブ型磁気抵抗効果素子の製造方法の一例を示す図。

【符号の説明】

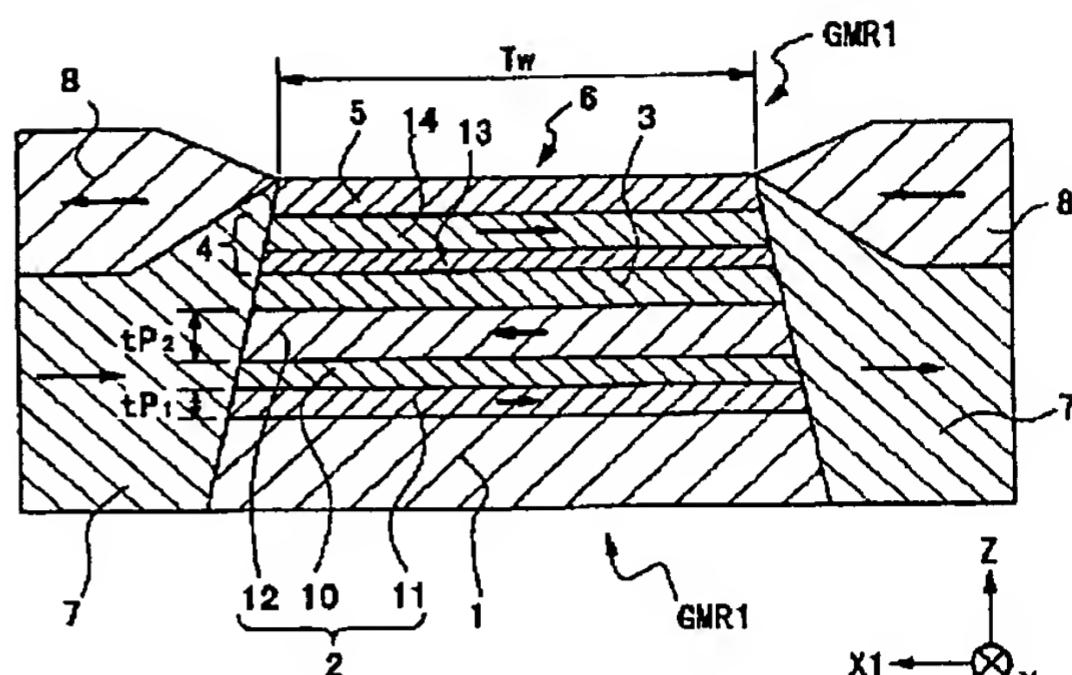
| | |
|---|------------|
| 1 … 反強磁性層、 | 2 … 固定磁性層、 |
| 3 … 非磁性導電層、 | 4 … フリー |
| 磁性層、 10 … 非磁性中間層、 | 11 … |
| 第1の固定磁性層、 12 … 第2の固定磁性層、 | |
| 7 … 縦バイアス層、 8 … 電流リード層、 | |
| θ … 角度、 20 … 第1のフリー磁性層、 | |
| 22 … 第2のフリー磁性層、 H_1 … 第1の磁界、 | |
| H_2 … 第2の磁界、 H_3 … 第3の磁界、 | |
| 第3の方向、 D_1 … 第1の方向、 D_2 … 第2の方向、 D_3 … 第3の方向、 D_4 … 第4の方向、 D_5 … 第5の方向、 | |
| H_{11} … 第1番目の磁界、 H_{12} … 第2番目の磁界、 H_{13} … 第3番目の磁界、 H_{14} … 第4番目の磁界、 H_{15} … 第5番目の磁界、 D_{11} … 第1番目の方向、 D_{12} … 第2番目の方向、 D_{13} … 第3番目の方向、 D_{14} … 第4番目の方向、 D_{15} … 第5番目の方向、 | |

D₁ … 第5番目の方向。

【図 1】

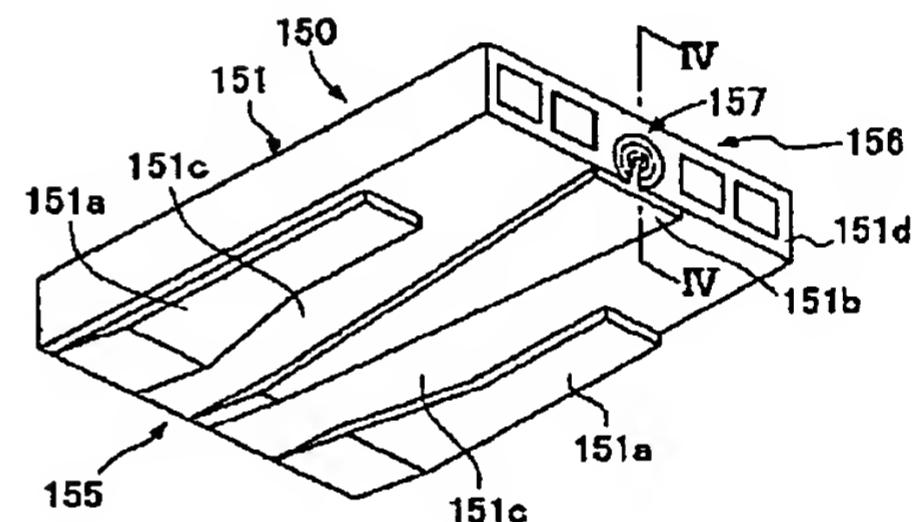
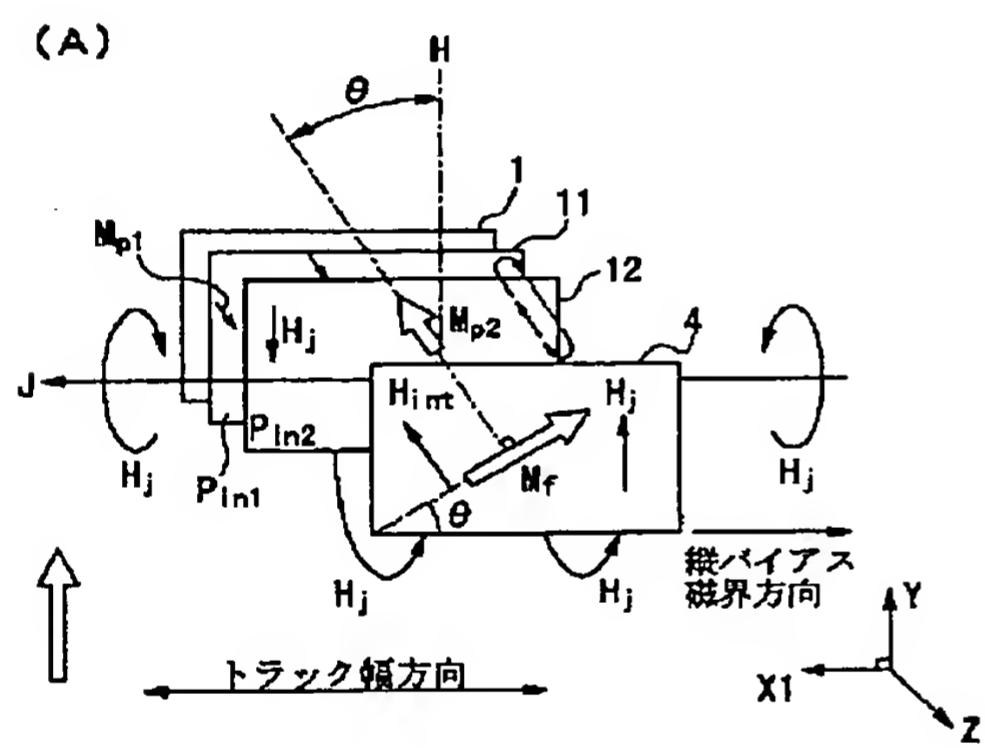


[図2]

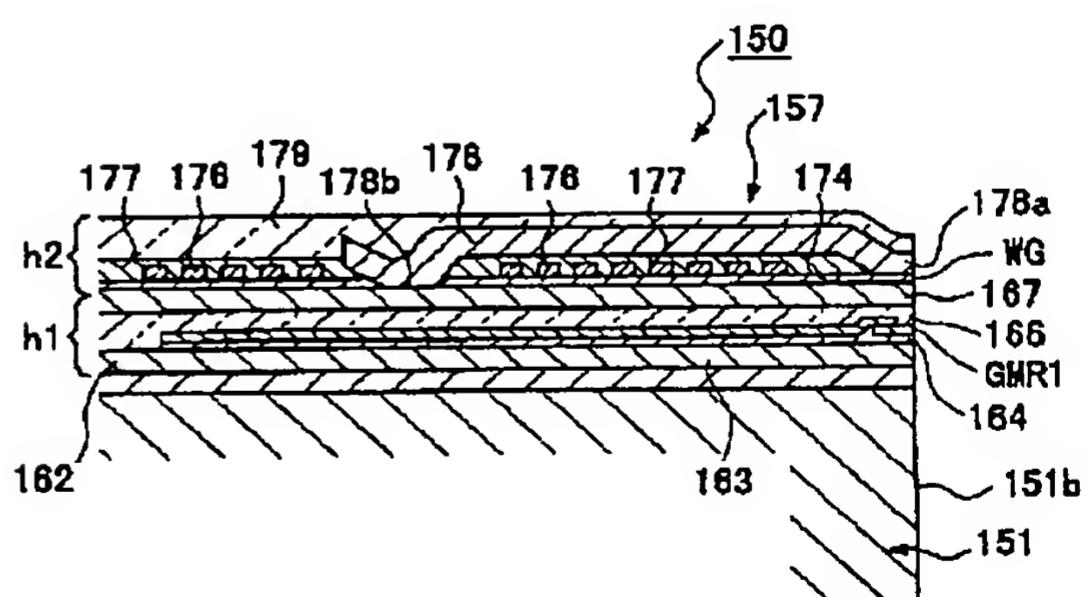


〔四三〕

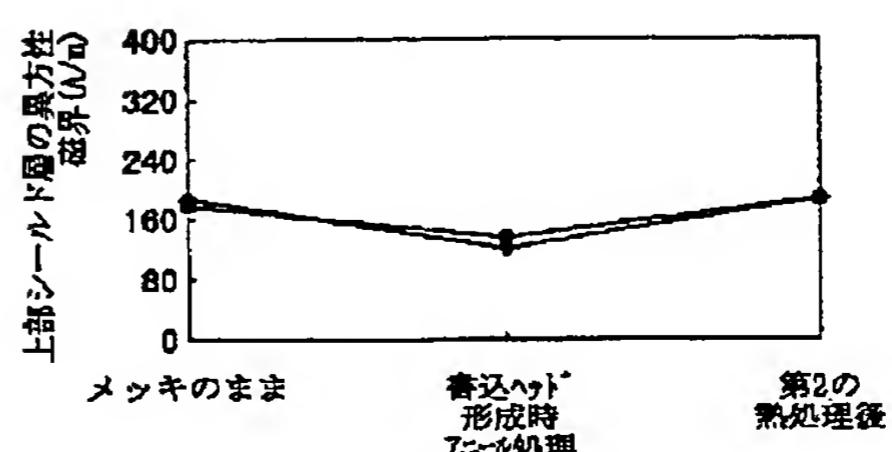
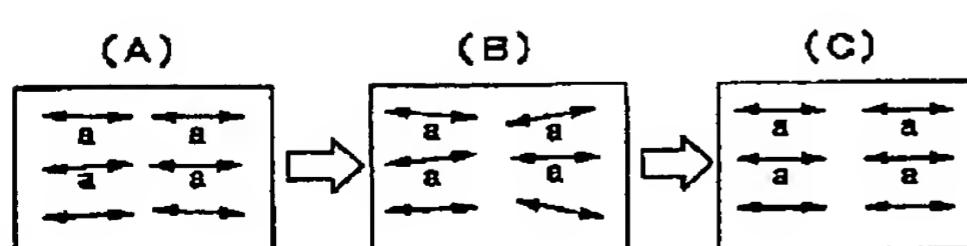
[図4]



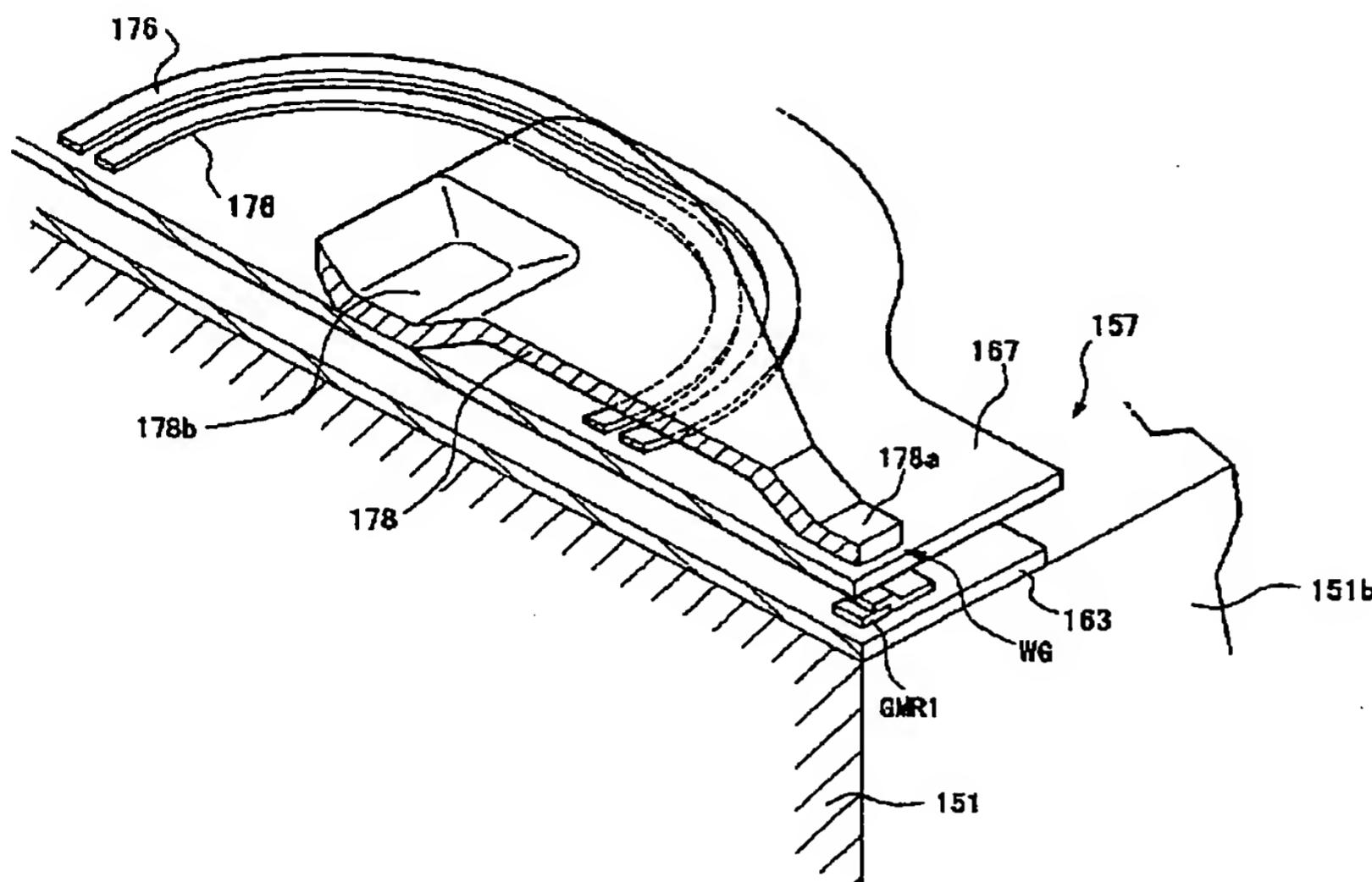
〔四〕 5



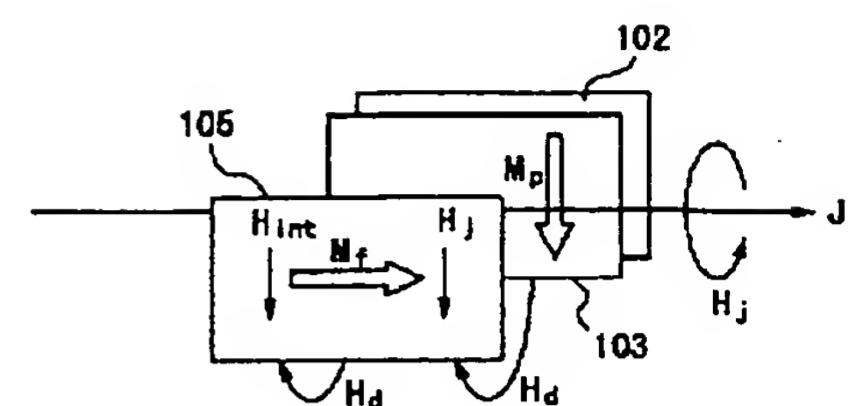
[图1.7]



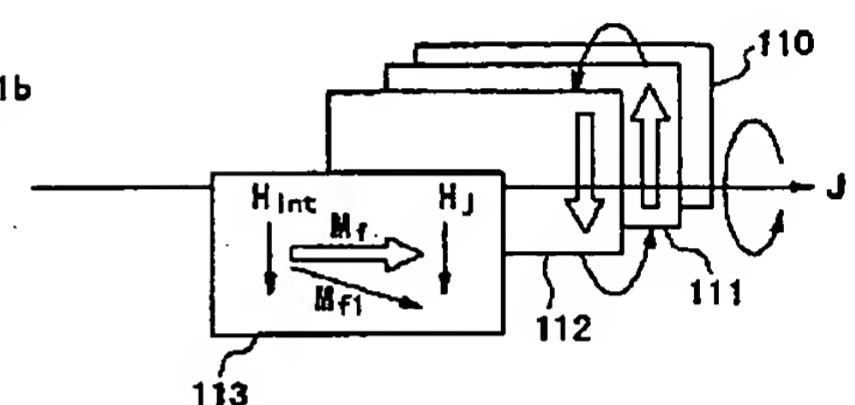
【図6】



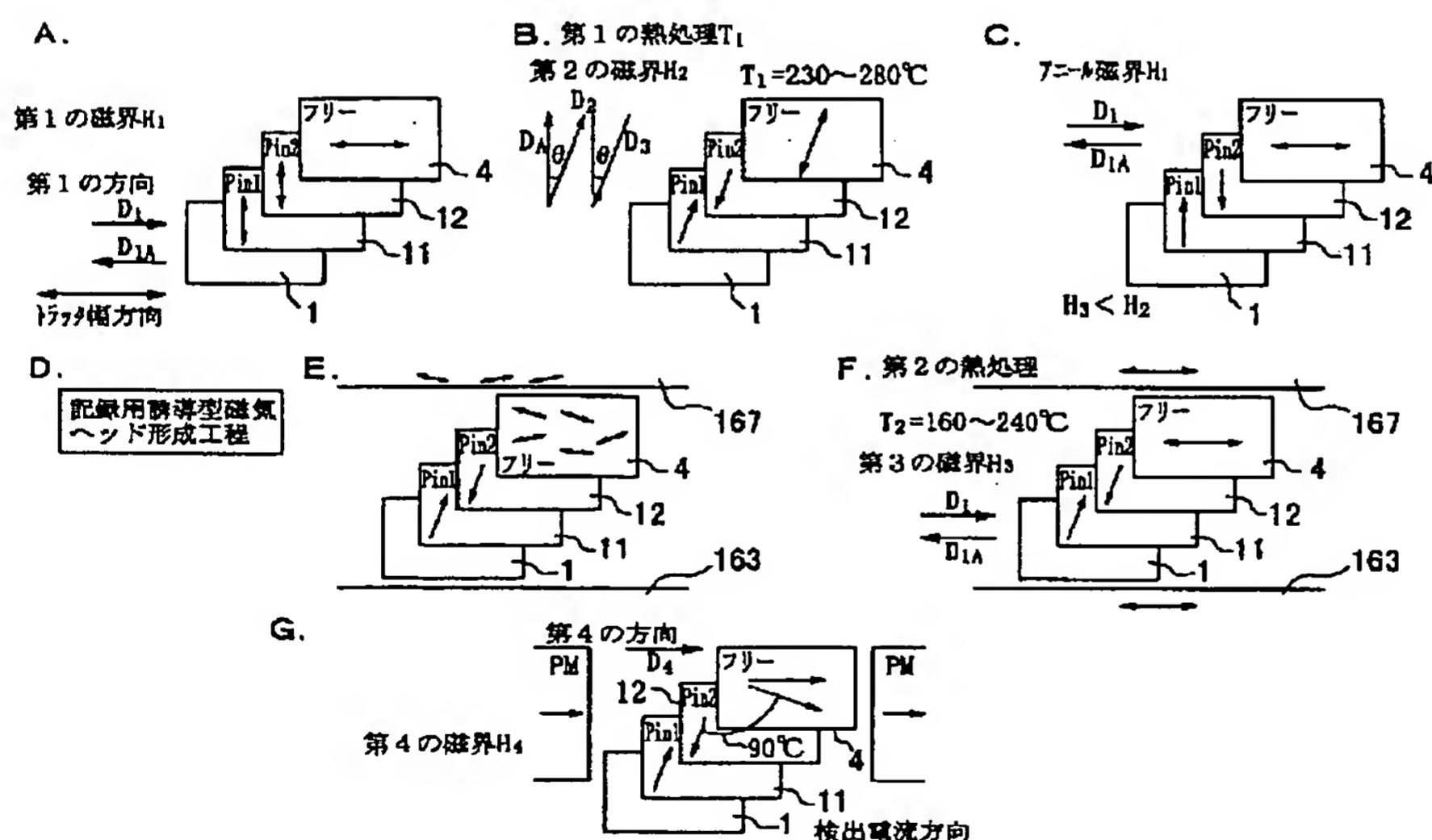
【図23】



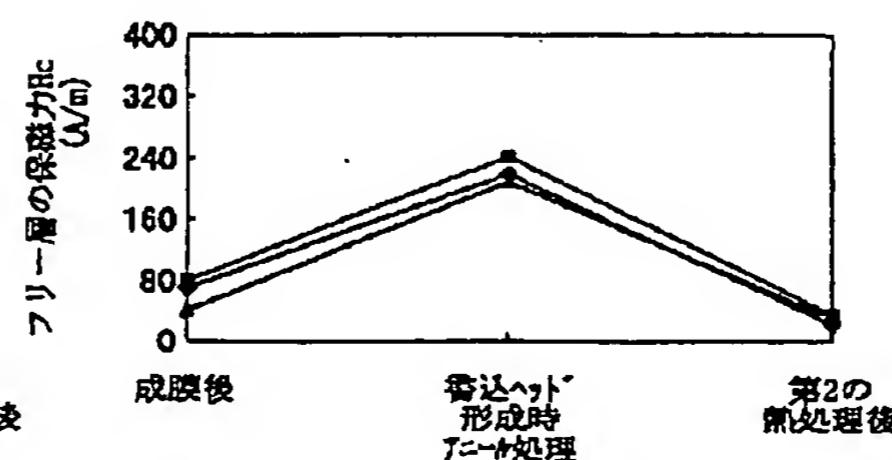
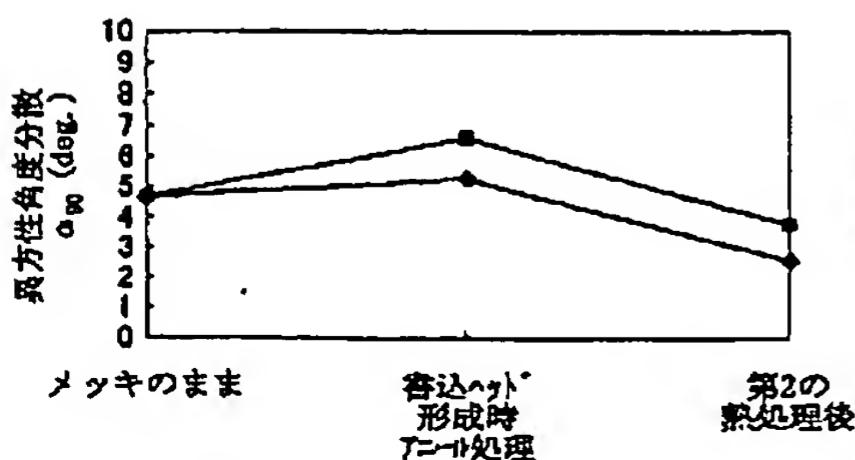
【図24】



【図7】

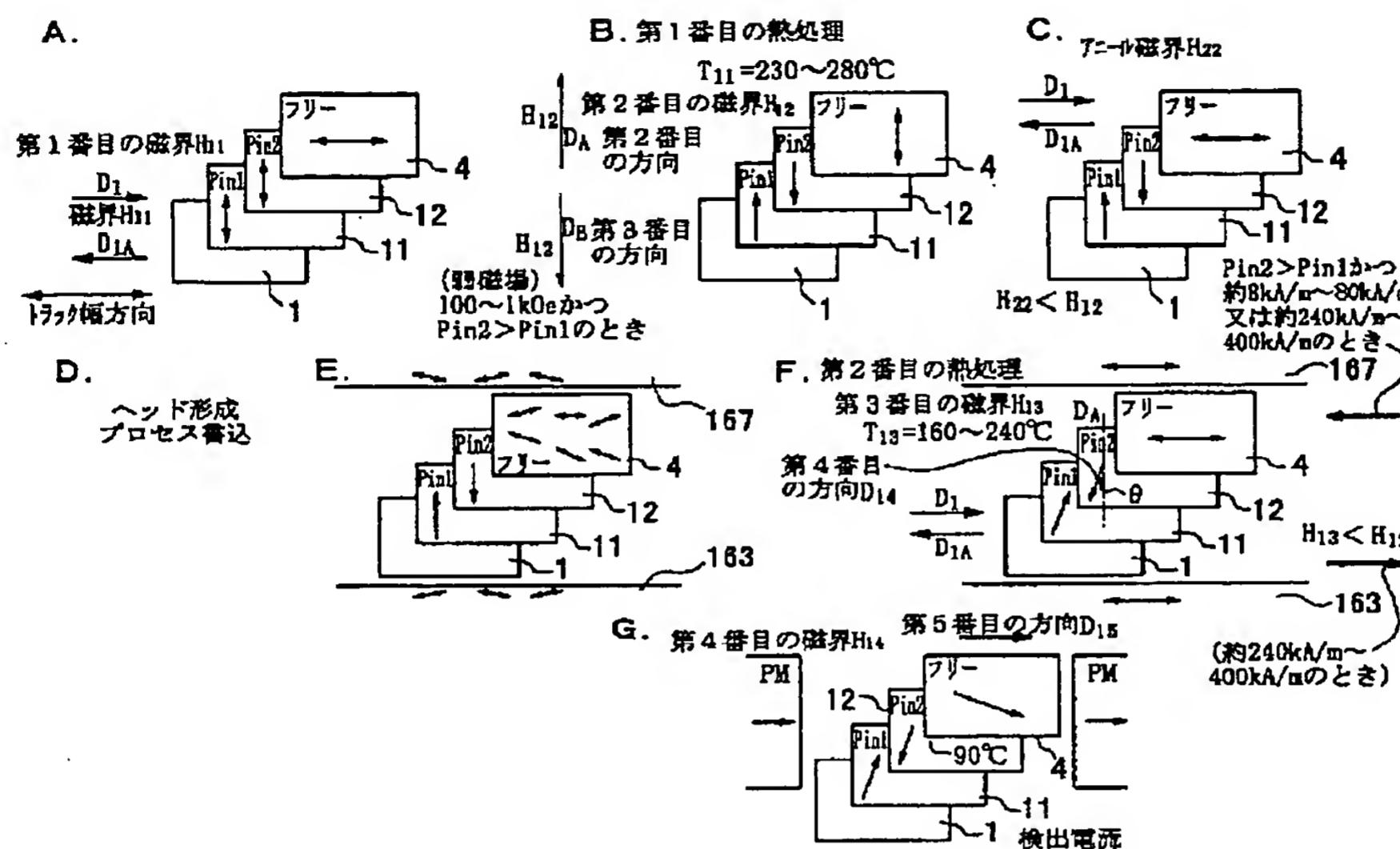


【図16】

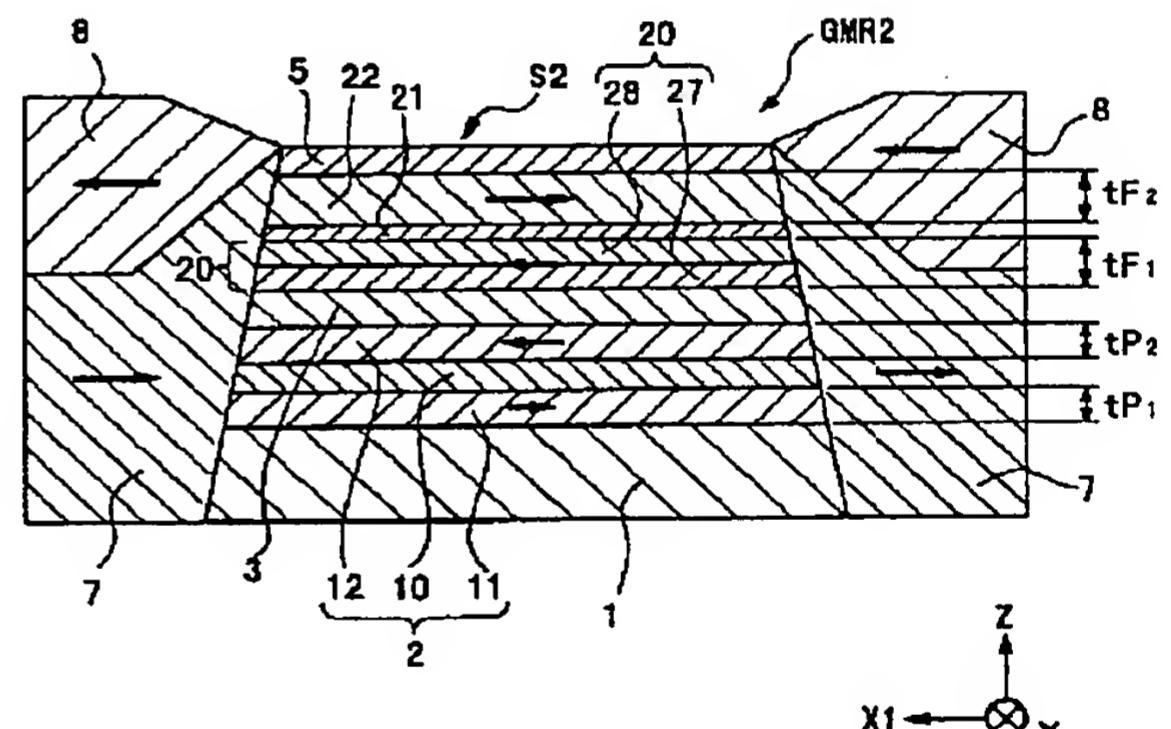
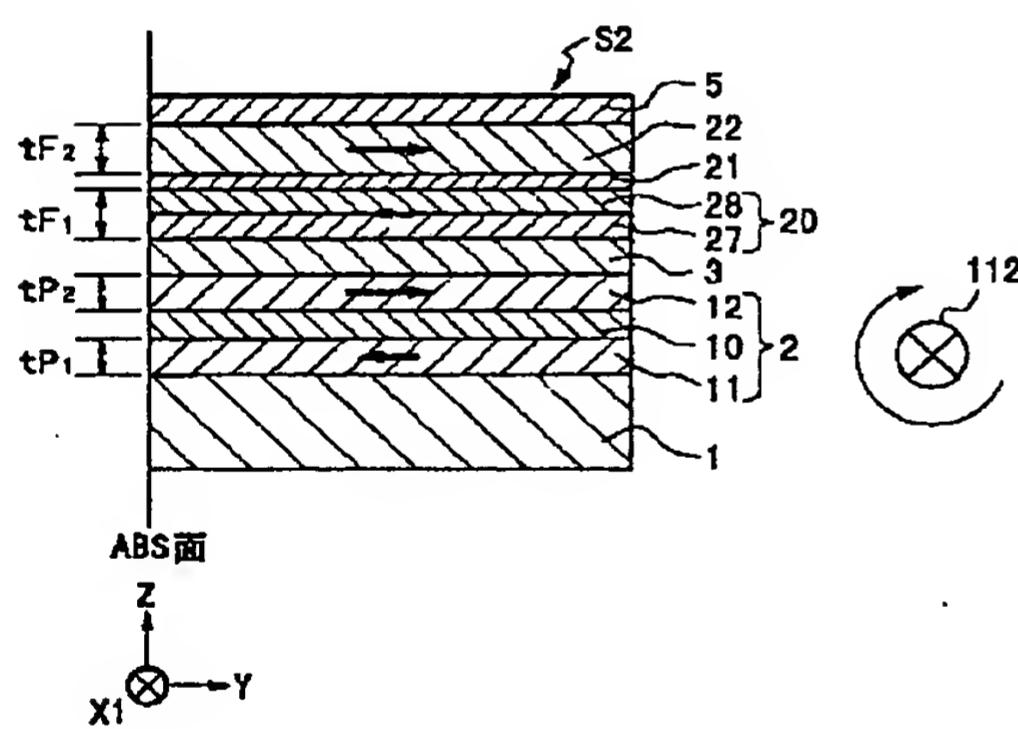


【図18】

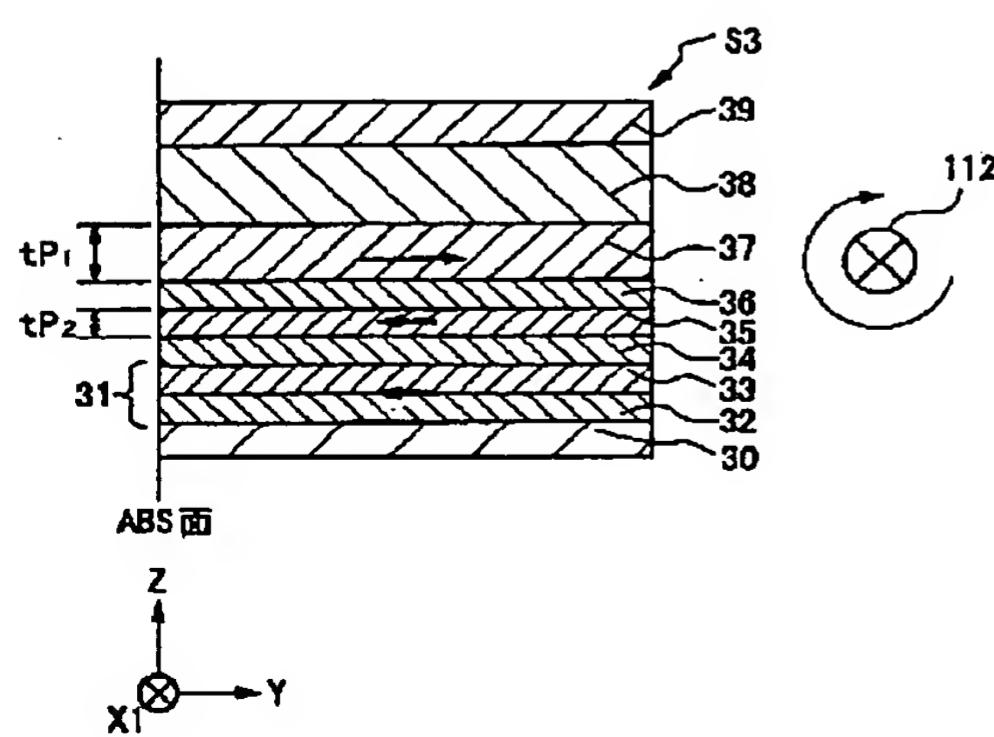
【図8】



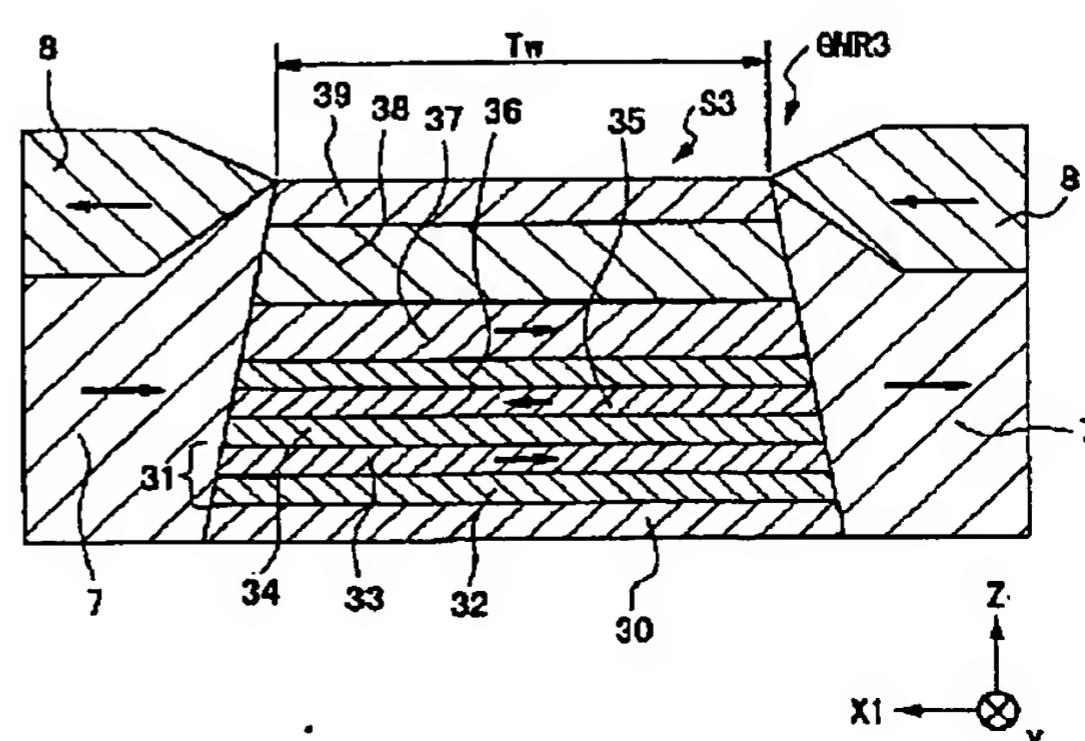
【図9】



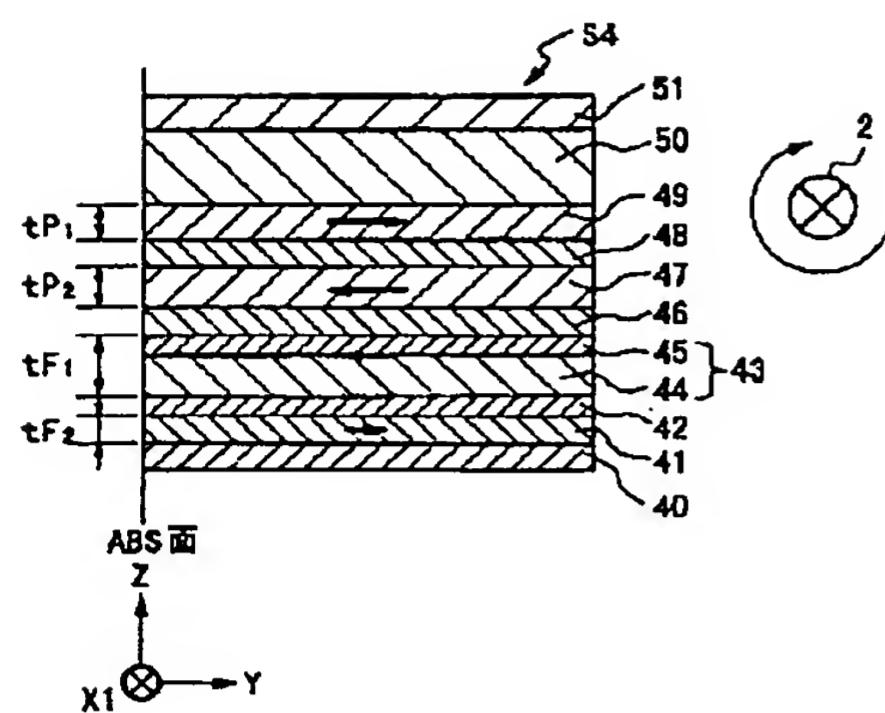
【図11】



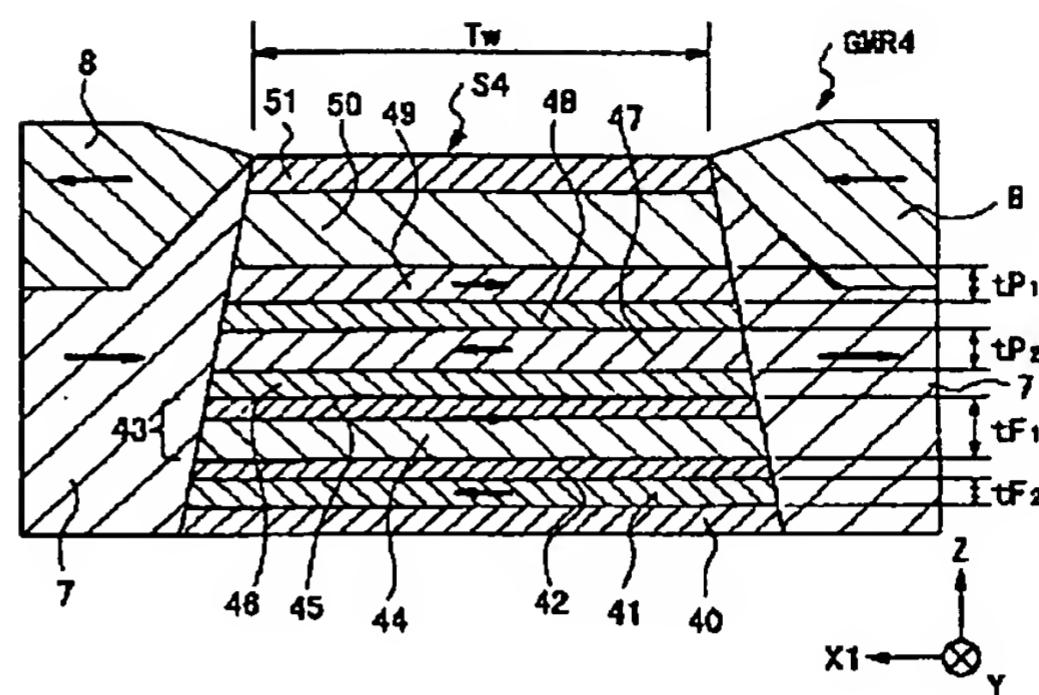
【図12】



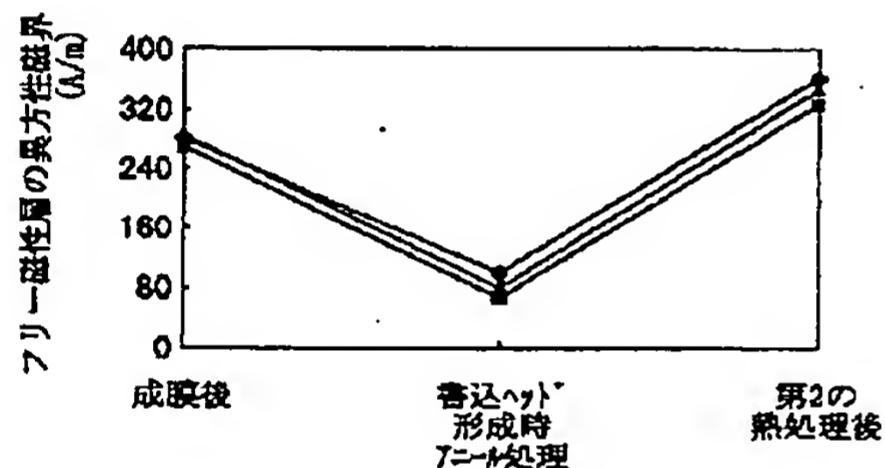
【図13】



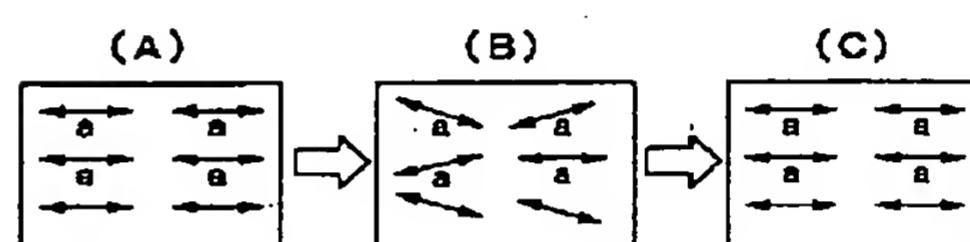
【図14】



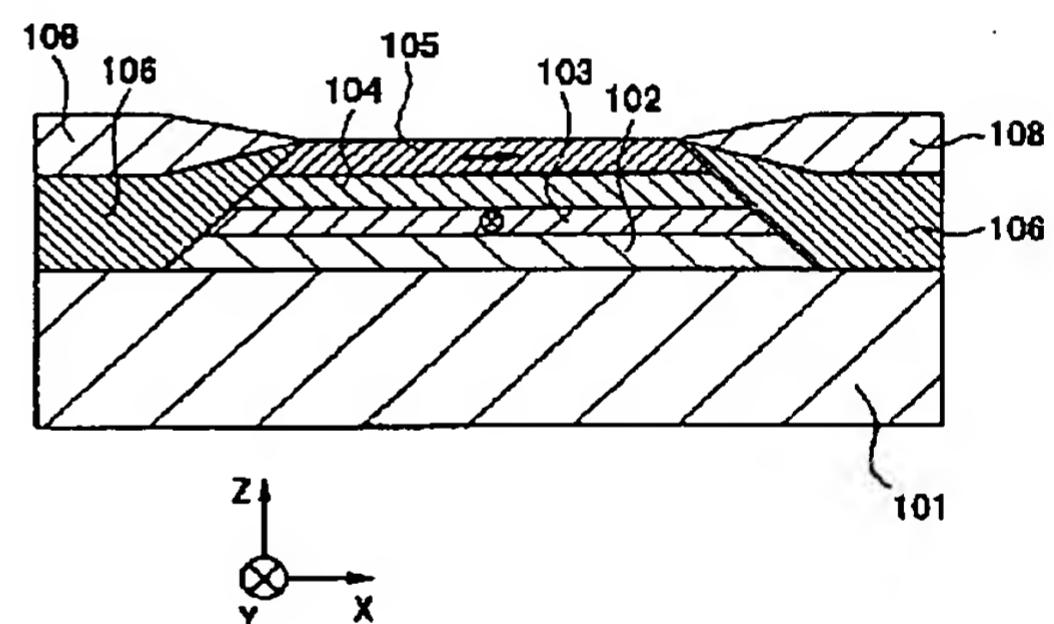
【図19】



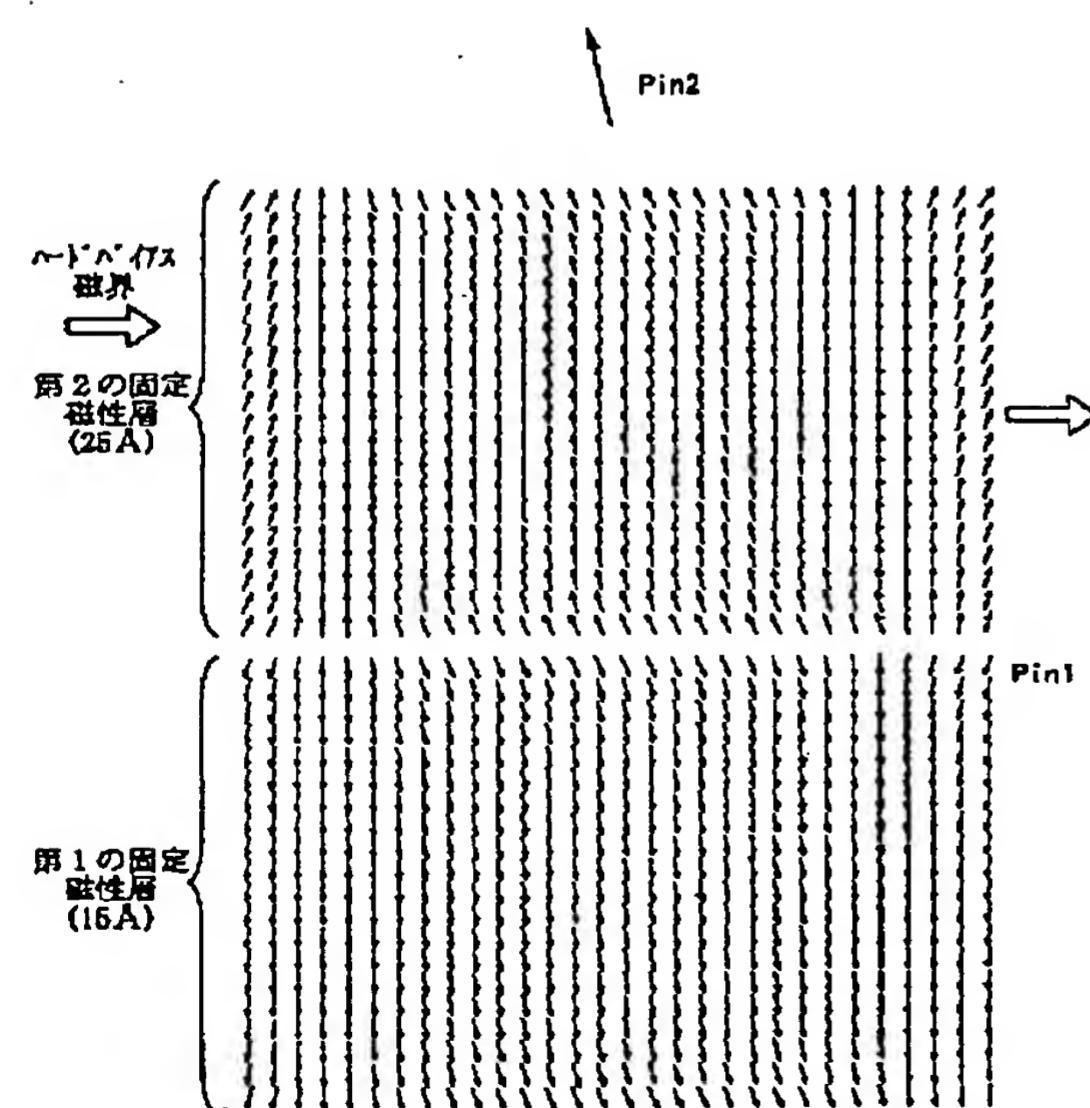
【図20】



【図22】



【図21】

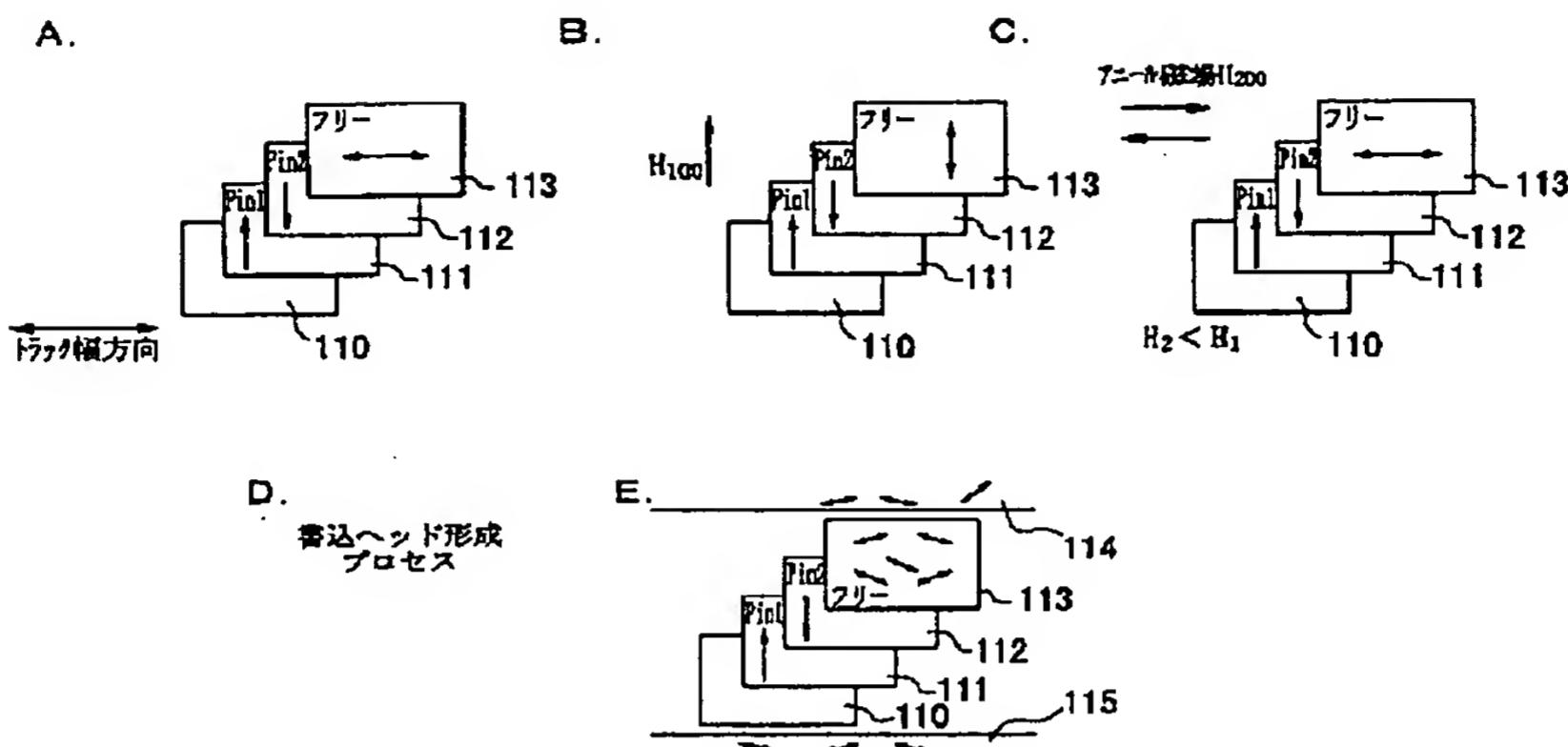


Pin1

Hex 72 kA

Pin1
 $\theta = 10^\circ$

【図25】



【手続補正書】

【提出日】平成13年3月13日(2001.3.1)

3)

【手続補正1】

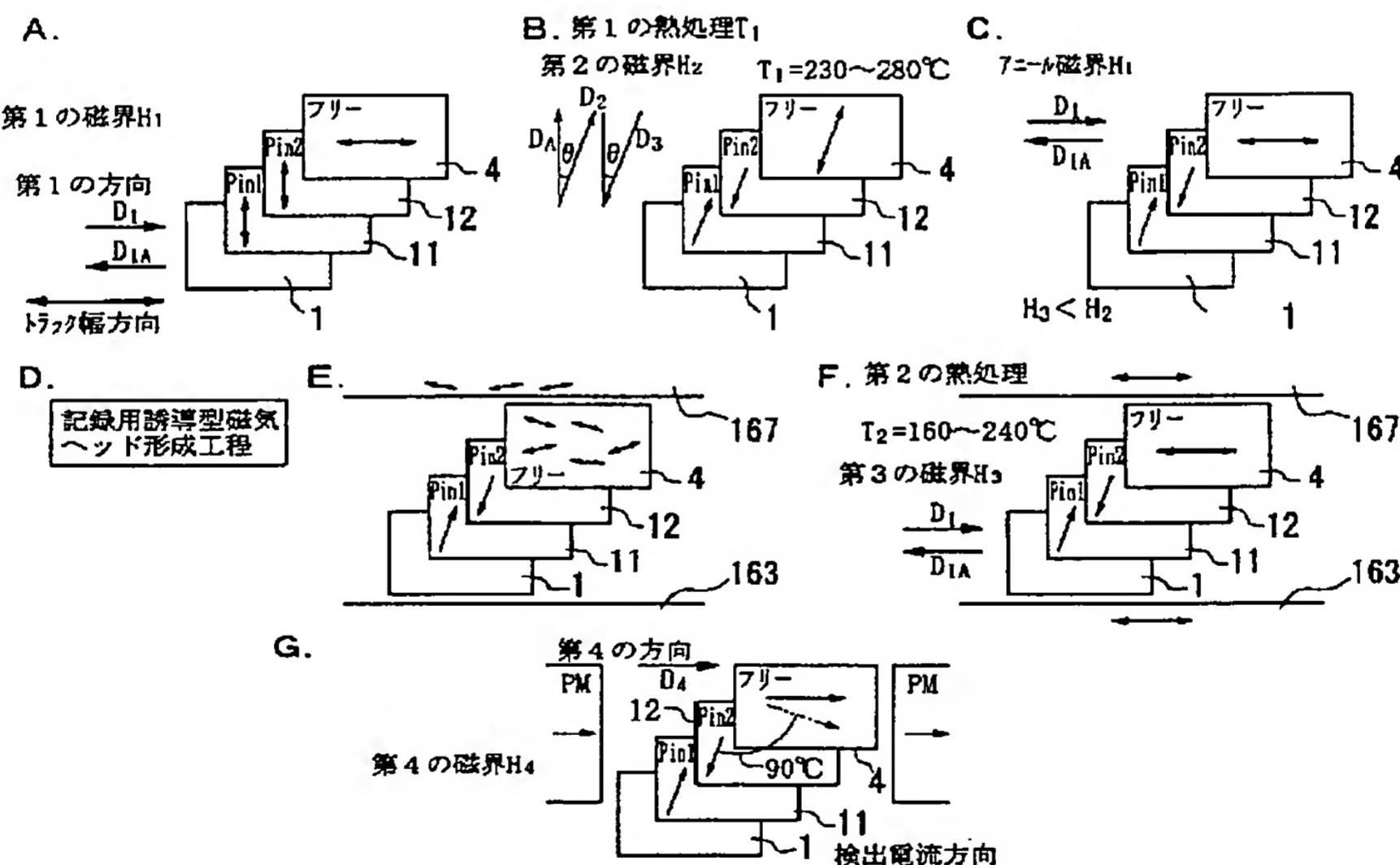
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】



【手続補正2】

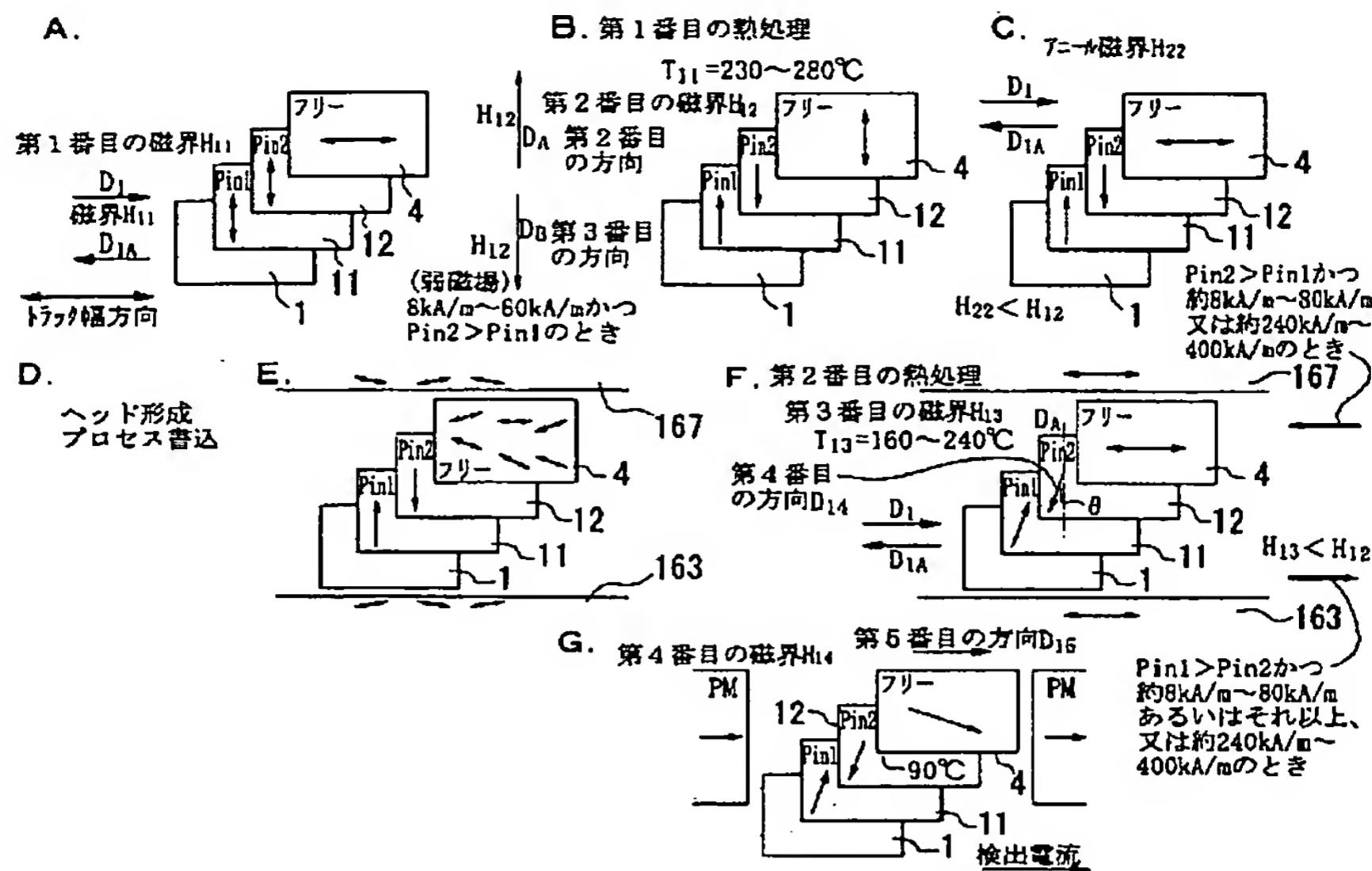
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図8

【補正方法】変更

【補正内容】

【図8】



フロントページの続き

(72) 発明者 井出 洋介

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルブ
ス電気株式会社内

F ターム(参考) 5D034 BA04 BA09 BB12 DA07

5E049 AA01 AA04 AA07 BA12 CB02
DB12

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)